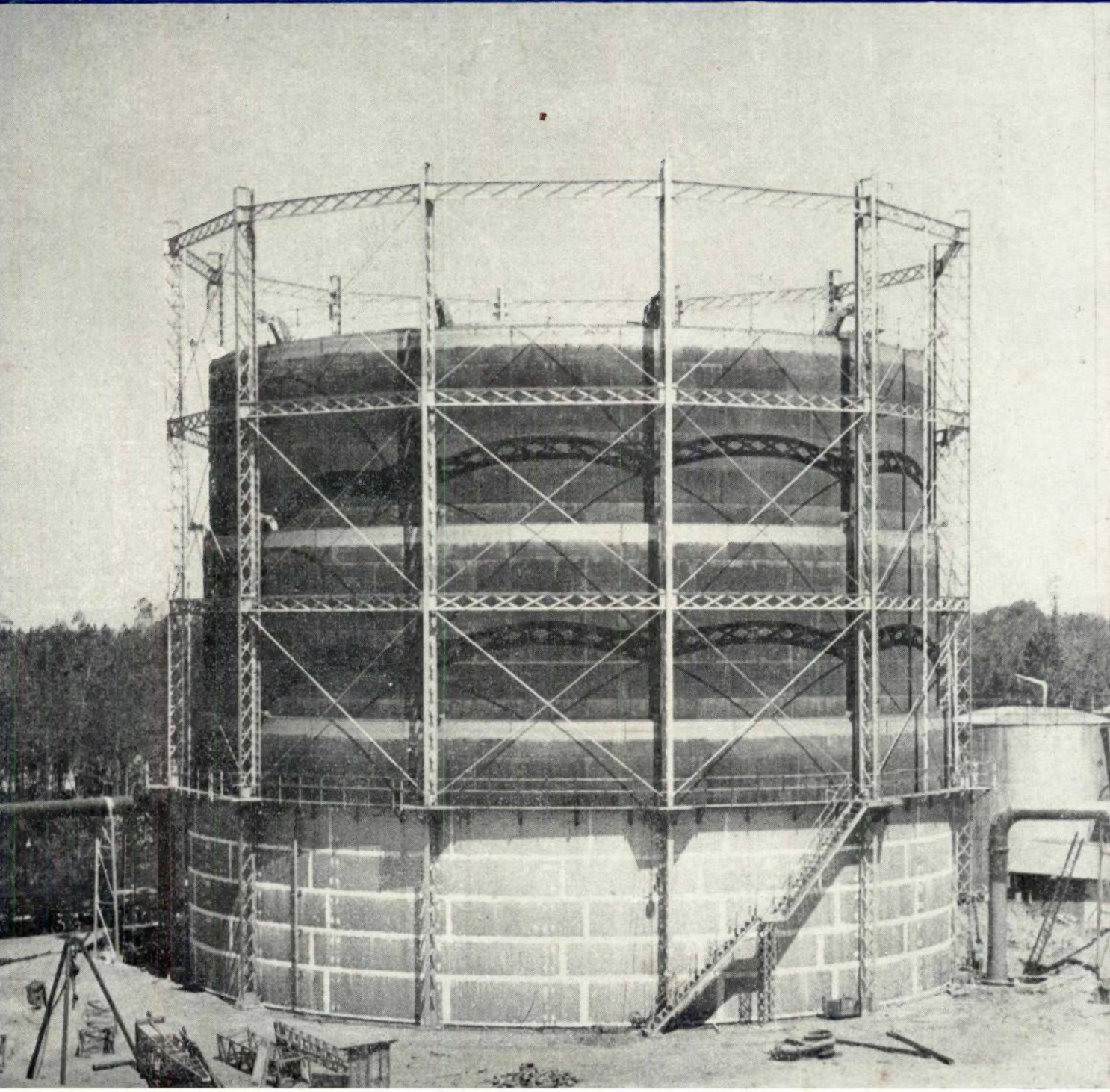
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I. S. T.

N.º 286-NOVEMBRO-1958

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão – Setúbal

Telef. 028824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 28201 2/3

BOETTICHER Y NAVARRO PORTUGUESA, L.DA

LICENÇA Westinghouse

ASCENSORES, MONTA-CARGAS, MONTA-CAMAS E TODOS OS GÉNEROS DE APARELHOS DE ELEVAÇÃO

ELEVADORES DE 2 VELOCIDADES E MANOBRAS EM CORRENTE RECTIFICADA E ESPECIAIS DE FUNCIONAMENTO EM CORRENTE CONTÍNUA, CONSTRUÍDOS SEGUNDO TÉCNICA E PROCEDIMENTO

WESTINGHOUSE

FORNECEDORES DOS 50 ELEVADORES DO NOVO HOSPITAL ESCOLAR DO PORTO

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL DE ELEVADORES E ESCADAS ROLANTES DA

WESTINGHOUSE ELECTRIC INTERNACIONAL CO.—U. S. A.

R. Pereira Henriques, 1 — R. do Açúcar, 56
LISBOA
Tel. 38 26 92 Tel. 38 27 21

R. António José da Costa, 26-2.º — Porto
Tel. 45 732

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

FABRICA EM SACAVÉM

TELEF. 73 01 56 (4 linhas)

TELEG. EPALDA—LISBOA

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXIII - N.º 286 Novembro de 1958

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR

JOSÉ JOAQUIM D. DOMINGOS

ADMINISTRADOR

ALEXANDRE CERVEIRA

SECRETÁRIO

JOSÉ GONÇALVES CALADO

REDACTORES

CARLOS DE RAMALHO CARLOS

JOSÉ MANUEL TEIXEIRA DOS SANTOS

JOSÉ FERNANDO PINHARANDA

JOSÉ LUÍS CÂNCIO MARTINS

★

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	80$00	110$00

★

EDITOR E PROPRIETÁRIO

ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

★

COMPOSTO E IMPRESSO

NA

Tip. JORGE FERNANDES, L.DA

RUA CRUZ DOS POIAIS, 103

LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Gasómetro de 14.150 m³ para Gaz Bruto de Síntese destinado às instalações fabris do Amoníaco Português, em Estarreja, executado e montado pela MAGUE — Sociedade de Empreitadas Moniz da Maia & Vaz Guedes, Lda. (Alverca).

Págs.

A Engenharia Civil na época actual — Concepção, cálculo e possibilidades construtivas

Pelo Prof. Engenheiro Edgar Cardoso 67

Processos de fabrico de água pesada

Pelo Eng.º J. M. Peixoto Cabral 75

«Quelques aspects economiques en rapport avec la coordination de l'exploitation et la planification des ressources d'énergie électrique au Portugal»

par Ings. F. Ivo Gonçalves, Sidónio Pais et J. Cruz Morais. . 91

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 104

Reconhecimento do subsolo para fundações de edifícios

Por Vítor F. B. de Mello e Carlos Sá Magalhães 105

Vida Escolar e Associativa 123

Do Mundo Técnico 127

Biblioteca 131

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A — Pág.

Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª V
Atlantic — Fábrica Lusitana de Tintas e Vernizes, Limitada XXXVII

B

Boetticher y Navarro Portuguesa, L.ª 2.ª da capa

C

Canelas & Figueiredo XLII
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . XI
Companhia União Fabril XVIII
Construções Técnicas, Ltd.ª X
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XXXIII

E

Edmond Dardel II
Electro-Arco, Ltd.ª XIII
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XIX
Empresa Electro Cerâmica XI
Empresa de Produtos Asfálticos . . . 2.ª da capa
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XXXVIII
Eng.º Augusto Cavaco XIII

F

Faber-Castell XXXII
Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, Ltd.ª XXXIV
Fábrica Portugal VII
Facto, Lda. XXII
Fanafel XXX

G

General Electric Portuguesa XXVI

H

Henriques & Castro, Ltd.ª X
Henry Wiggin XXVIII

I

INEL XXV
IST XXXVI

J — Pág.

Jayme da Costa, Lda . . . . XXIX e XXXI

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª VX

M

MAN XXIV
Máquinas de Precisão, Ltd.ª XIV
Metalexport XL
Monteiro Gomes, Ltd.ª XII

P

Papelaria Fernandes XXIII
Pimentel & Cesquilho, Ltd.ª III

S

Santos Mendonça, Lda. XLIII
S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XVII
Shell XXI
SMEIA . . . . . IV, VIII e XLI
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Electrom XLII
Sociedade Fabril de Matérias Plásticas XX
Sociedade Portuguesa Cavan XIV
Socony-Vacuum Portuguesa . . . . 4.ª da capa
Sofai XIII
SONAP XVI
Sondagens Ródio, Ltd.ª XIII
Standard Eléctrica IX

T

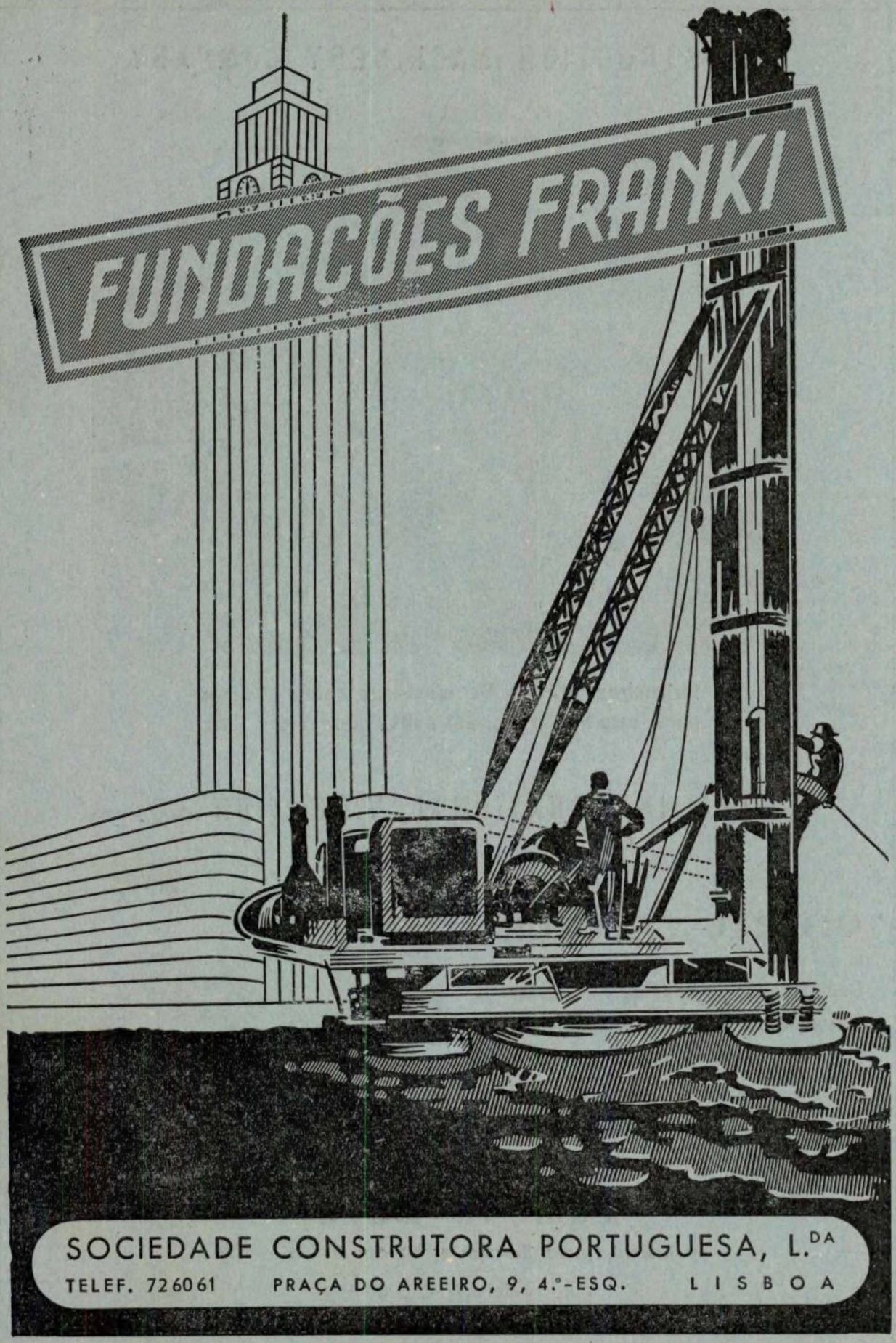
TAP XXVI
Tintas Valentine XXXV

V

Vasco Pessoa, Lda. XXX

W

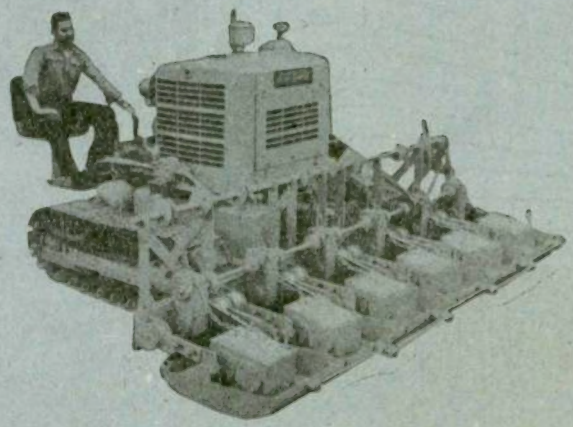
Wild Portugal, Lda. XXVII


FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 726061 PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ. LISBOA

CONSTRUCTION MACHINERY COMPANY

Betoneiras C. M. C. montadas sobre camions, para construção de estradas, aeroportos, etc.

THE INTERNATIONAL VIBRATION CO.



VIBRO-TAMPER

Compactador de sapatas vibratórias. Máxima compactação num mínimo de tempo

Agente exclusivo:

Edmond Dardel

Rua Rodrigues Sempaio, 19-4.º B — LISBOA

Telefone 42289

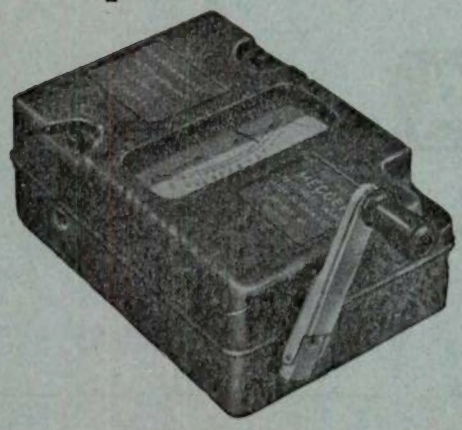
PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

GRANDE SORTIDO
DE INSTRUMENTOS DE
PRECISÃO, CIENTÍFICOS
E INDUSTRIAIS

PARA

- ENGENHEIROS
- ARQUITECTOS
- CONSTRUTORES
- TOPÓGRAFOS
- DESENHADORES
- LABORATÓRIOS
- ESCOLAS
- OFICINAS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 24314 • TELEG.: TECNA



SCANWO

CILINDROS PARA ESTRADAS
EQUIPADOS COM MOTOR DIESEL
BOLINDER

PARA ENTREGA IMEDIATA

SCANWO MODELO OTIL

Iluminação eléctrica, escarificador, regadores e raspadeiras

MOTOR BOLINDER

	OTIL	TITON	TOLEX
Peso (Ton.)	8 a 12	12 a 14	12 a 16
Kg/cm	24 a 76	32 a 79	40 a 81
Km/hora	1.7 a 11.0	1.3 a 8.3	1.2 a 7.7

SMEIA

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola

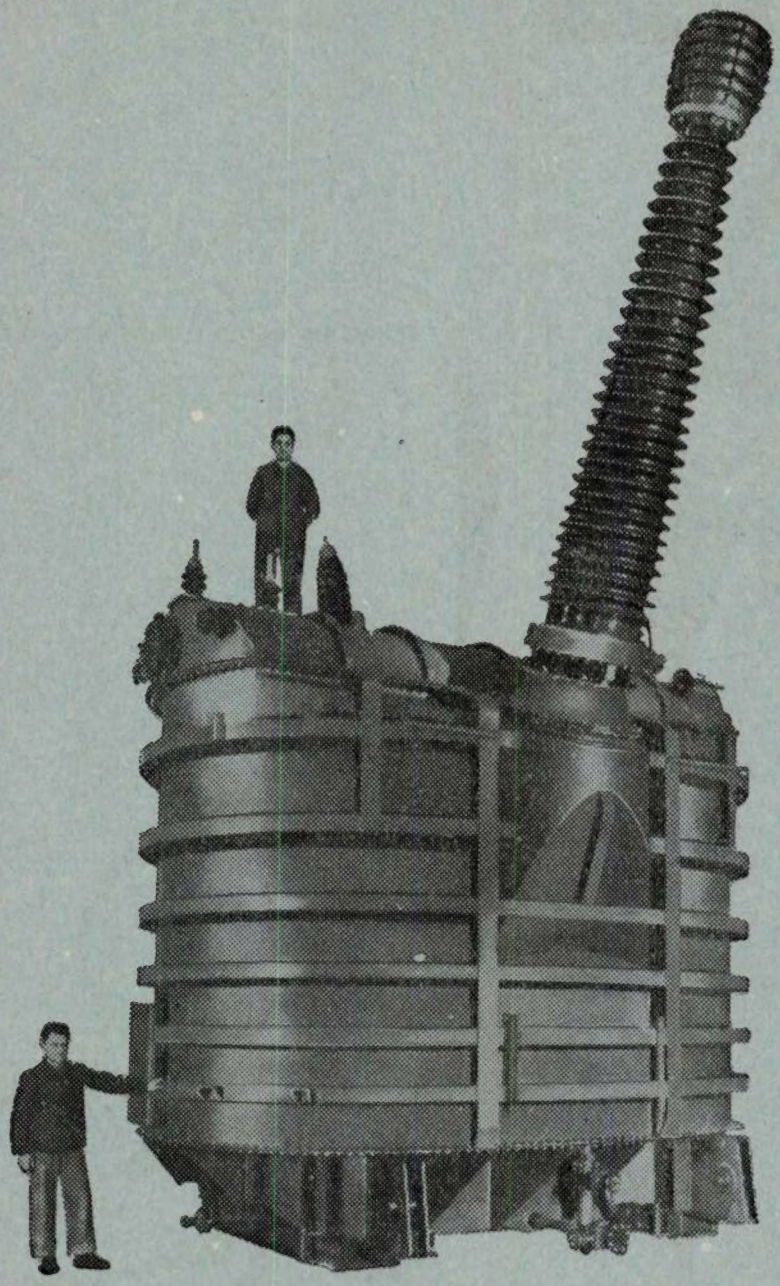
S. A. R. L.

LISBOA — Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B — Telef. 72 40 53

SAVOISIENNE

Ateliers de Construction de Transformateurs de la Compagnie Générale d'Electricité de Paris

MATERIAIS DE QUALIDADE



Transformadores de todas as potências

Referências em Portugal:

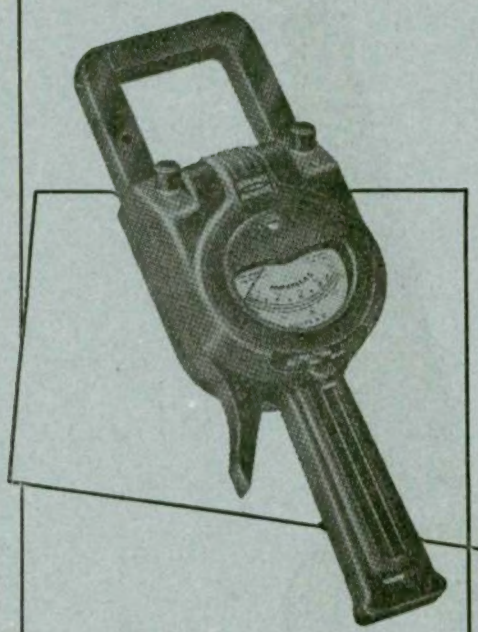
Companhia Nacional de Electricidade • União Eléctrica Portuguesa • Estaleiros Navais de Viana do Castelo

DELEGADOS

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos Industriais, 4-1.º (às Côrtes) LISBOA Telefs. 66 06 92 / 66 60 82 / 66 06 04

PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT—AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA
T. DA GLÓRIA, 17—LISBOA
160, R. STA. CATARINA, 168—PORTO

Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

MOBILIÁRIO METÁLICO

EM TODOS OS GÉNEROS

Instalações completas para :

Mobiliário moderno
para

ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

CLINICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57
Avenidas da República e Elias Garcia — Rua da Graça, 82 e 84

Transportam todos os materiais com rendimento que vai de 100 a 425 ton./hora

Os transportadores portáteis Barber-Greene oferecem o meio mais eficiente e económico para o transporte de: Areia, Pedra, Carvão, Cinza, Cimento, Produtos químicos, Sacos e Caixas.

Todos os transportadores portáteis Barber-Greene são destinados a serem rebocados por viaturas rápidas.

Para informação detalhada dirija-se ao representante exclusivo.

Barber-Greene Overseas, Inc.

Barber-Greene Company, Aurora, Ill., U.S.A.

BG

Barber-Greene Olding & Co., Ltd., England

Barber-Greene Canada, Ltd., Canada

REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

SMEIA

SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSIRIAL E AGRÍCOLA, S. A. R. L.

Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8

LISBOA

Ad No. 54-104A—P.O.

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

CEMPEXO

tinta hidrófuga e petrificante à base de cimento

A tinta que dura

Pintura ideal para paredes de prédios e outras estruturas.

Cores atraentes, fixas e duradouras.

Usa-se sôbre rebocos, tijolos, betão, fibrocemento, pedra natural, etc.

DANSK CEMENT CENTRAL

DISTRIBUIDORES EM PORTUGAL

HENRIQUES & CASTRO, *Lda.*

AVENIDA CONDE DE VALBOM, 96 LISBOA

TELEF. 775057-775058

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13, 3.º

LISBOA

Telefs. 2 2344 / 2 7809

Máquina "BENOTO" executando estacas de 1 m de diâmetro e 60 m de comprimento, nas fundações do viaduto de Sacavém, na auto-estrada do Vale do Tejo

Fundações

Construções Civis e Industriais

Betão Armado e Betão Pré-esforçado

Obras Públicas

Concessionária do sistema de moldes deslizantes «PROMETO» e do sistema para execução de estacas de grande diâmetro «BENOTO»

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

Candal — Gaia

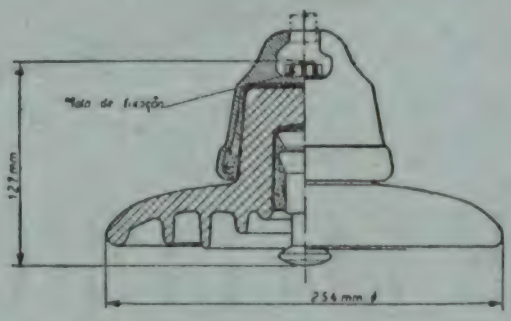
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado:
4,5 kg cada elemento

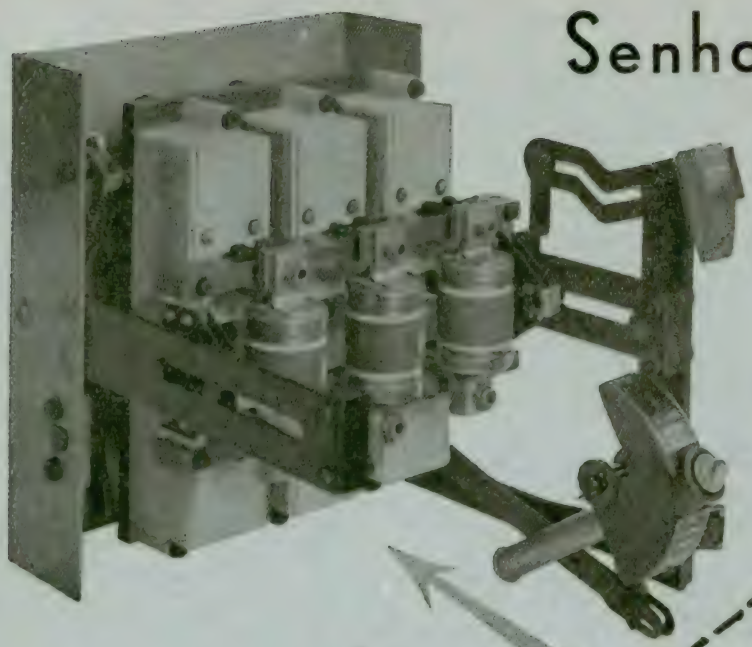


Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA

Senhor instalador...



aceite o nosso conselho de especialistas em aparelhagem de protecção e utilize fusíveis de alto poder de corte nos circuitos de distribuição que instalar,

mas...

salvaguarde a reputação da sua firma adquirindo fusíveis de qualidade

'ENGLISH ELECTRIC'

THE ENGLISH ELECTRIC COMPANY LIMITED, QUEENS HOUSE, KINGSWAY, LONDON, W. C. 2

AGENTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL E ANGOLA:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

●

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

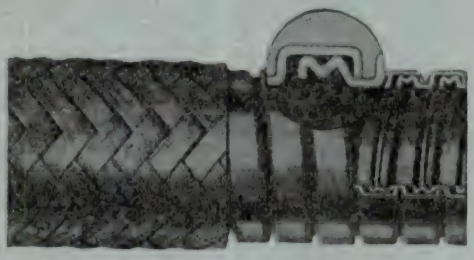
●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 - TEL 21277

SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62-4.º D. · LISBOA · TELEF. 5 3873



Tubos metálicos flexíveis

Para os mais diversos fins

Fabrico Alemão de

Metallschlauch — Fabrik Pforzheim

●

Representantes em Portugal e Ultramar:

Soc. For. Ac. Industriais

SOFAI, LDA.

LISBOA Av. João XXI, 20-C ◆ Tel. 72 11 95

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

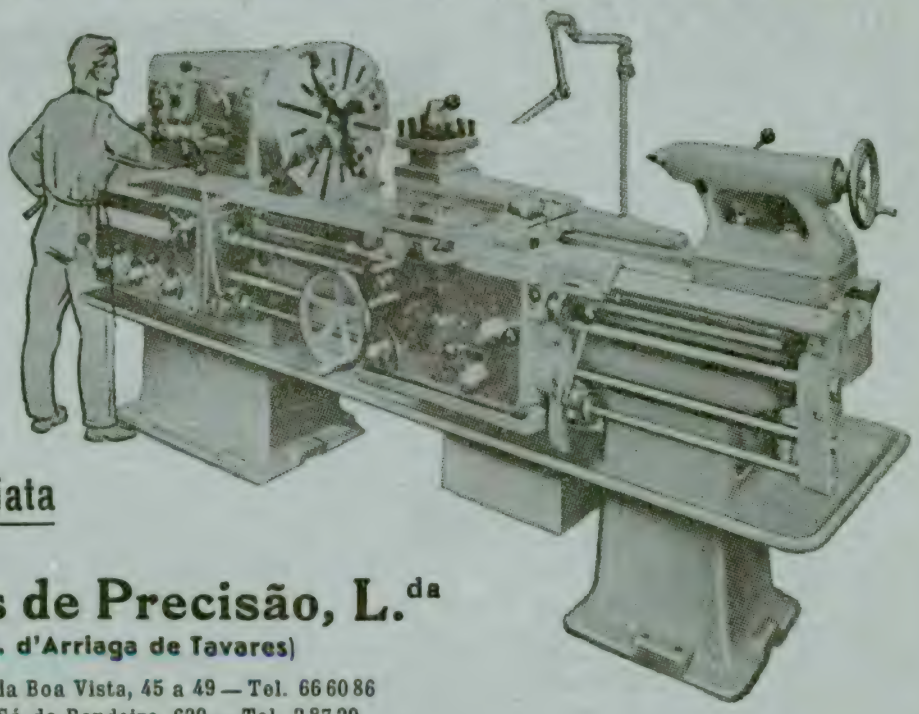
RUA D. ESTEFÂNIA, 42

TELEF. 47812-50129

LISBOA

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras



Entrega imediata

Máquinas de Precisão, L.da

(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LISBOA: Rua da Boa Vista, 45 a 49 — Tel. 666086
PORTO: Rua Sá da Bandeira, 629 — Tel. 28720
LUANDA: R. Pereira Forjaz, 79 — Caixa Postal 304

LEACOCK (LISBOA). L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.

Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.

Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

J. A. CRABTREE & CO. LTD.

Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.

Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.

Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.

Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT

Contadores de água, de vapor e de óleo.

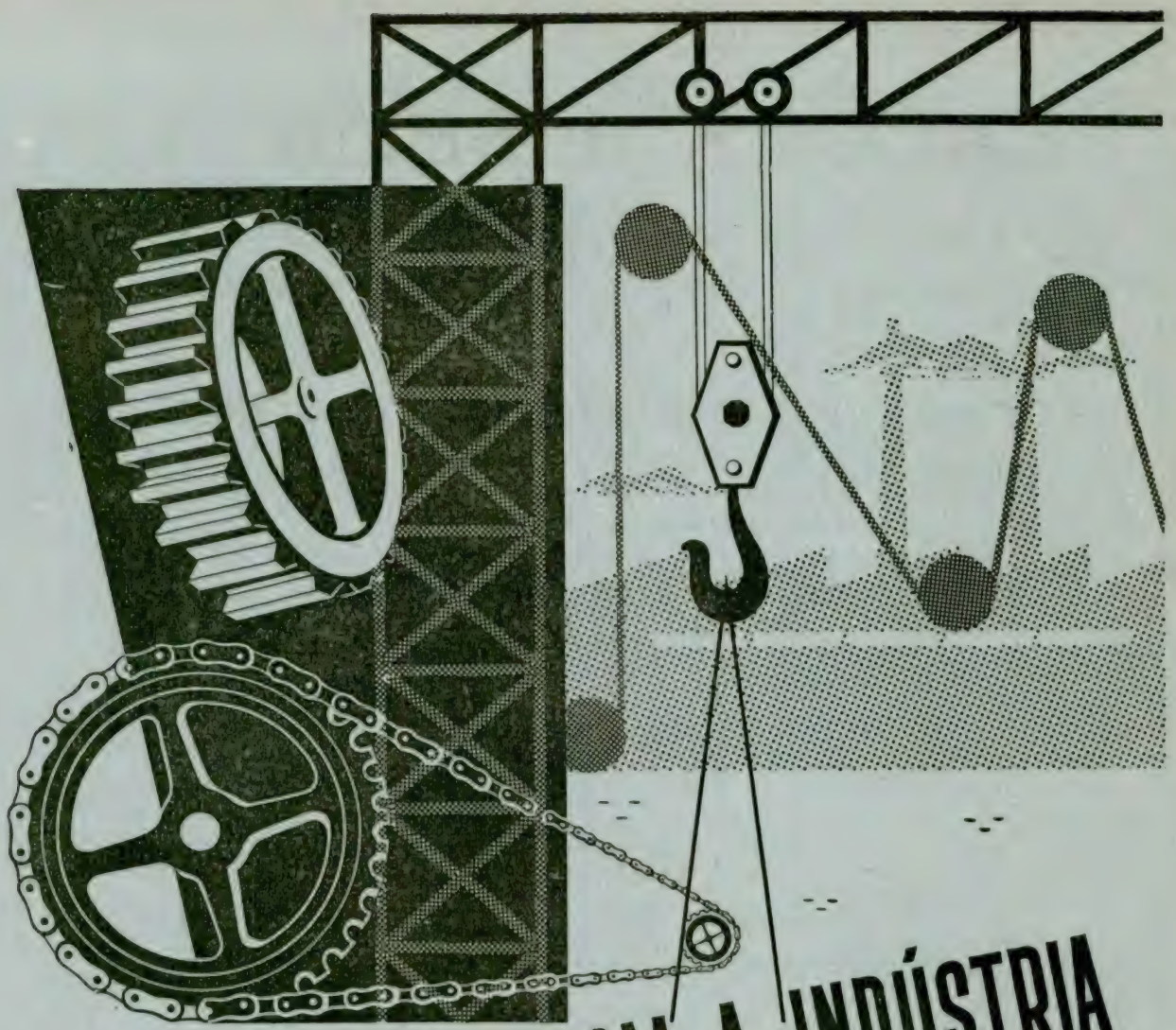
Tubos Venturi

Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.

Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.

Luz fluorescente.



COLABORANDO COM A INDÚSTRIA

NA LUBRIFICAÇÃO DE TODOS
OS SISTEMAS DE ENGRENAGENS

LUBRIFICANTES

Sonap

57-154

TÉCNICA

DIRECTOR: JOSÉ JOAQUIM D. DOMINGOS
ADMINISTRADOR: ALEXANDRE CERVEIRA

Ano XXXIII - N.º 286 Novembro de 1958

C. D. U. 624.004

A Engenharia Civil na época actual

Concepção, cálculo e possibilidades construtivas

Oração de sapiência proferida pelo Prof. Engenheiro Edgar Cardoso em 17 de Outubro de 1958

Senhor Presidente da República,
Senhores Ministros,
Minhas Senhoras,
Meus Senhores:

Antes de iniciar a exposição, apresento a V. Ex.ª, digníssimo Reitor, o meu maior agradecimento pela generosidade das palavras com que me distinguiu e pela alta honra que me foi conferida de proferir nesta sessão solene o discurso inaugural do novo ano lectivo.

A Engenharia Civil, na época actual, abrange diversos ramos e as mais variadas especialidades. Falar dela, da concepção, do cálculo e das possibilidades construtivas, desde a casa que habitamos aos mais espectaculares edifícios de trabalho, investigação ou ensino, de desporto ou de distracção, com todos os requisitos de conforto e de higiene; falar do planeamento de aldeias, vilas ou cidades e dos seus correspondentes serviços públicos, tais como o fornecimento de águas, de energia ou de transportes; das vias de comunicação, estradas, caminhos de ferro, autoestradas ou canais, com as suas obras de arte, pontes, túneis, etc.; dos portos, aeroportos ou hidrobases; das fábricas e oficinas e das centrais térmicas, hidráulicas ou nucleares; das estruturas de lançamento de foguetões ou de satélites; dos faróis e das torres de TSF ou TV; da conquista das terras ao fundo dos mares ou aos desertos e dos trabalhos para as tornar produtíveis, como os de rega ou enxugo; da extracção das profundezas das águas e das entranhas da terra dos combustíveis ou outras riquezas; do aproveitamento da energia potencial e cinética dos fluídos da Natureza; enfim, da transformação da matéria em estrutura resistente para constituir as mais variadas obras de arte; falar, com saber, de tudo isto, não é tarefa fácil para um só homem.

De facto, cada uma destas enunciadas matérias é hoje, só por si, um mundo de especializações em incessante evolução, que não permitem ao técnico abarcar todas, por maior que seja a sua capacidade mental.

Por exemplo:

Citou-se a energia e as centrais hidráulicas. Que variados assuntos envolve a construção duma barragem?

O que é necessário conhecer dos seus solos de fundação; dos materiais que a irão formar; dos trabalhos acessórios e dos meios auxiliares de execução; que análises experimentais e algébricas se têm que desenvolver para se atingirem as melhores formas estruturais e hidráulicas!

Um de cada destes aparentes restritos assuntos, por sua vez se desdobra em outras tantas especializações. Assim, o Engenheiro Civil que determina as tensões ou esforços à volta dum dado ponto de certa superestrutura, não é o mesmo Engenheiro Civil que calcula o descarregador de cheias, nem ainda o que vai montar na barragem os aparelhos de medida do estado de tensão ou deformação elasto-plástica da mesma.

Deste prévio e singelo enumerado, logo se deduzirá que VV. Ex.as não estão a ouvir o anunciado discurso, a tradicional Oração de Sapiência.

Quando muito, decerto, um brado insólito e irreverente.

Primeiramente assim é, visto que, faltando-me a palavra e a sabedoria, estou a trair a dignidade deste acto;

Em segundo lugar, por apresentar mais do que fantasiosas hipérboles, em minha consciência, no entanto, apenas ditadas pelo desejo de que, da justa reacção, alguma coisa resulte de melhor para o ensino ou, o que é o mesmo, para a Engenharia Civil, com directa aplicação entre nós, na mais proveitosa eficiência do II Plano de Fomento Nacional agora em causa.

Se há que realizar as obras para o melhor bem-estar do homem, individual e colectivamente;

Se o homem, por mais alto que seja o seu génio e sacrifício pela Ciência, de tudo isso pouco mais sabe que nada;

Se apenas a alguma coisa se poderá dedicar, cônscio do que desconhece;

Somos levados a concluir, ainda daquelas primeiras mal articuladas palavras, que a verdadeira Engenharia Civil na época actual se caracterizará pela mais alta especialização, sempre em inevitável trabalho de autêntica equipa.

Deverá então ser tratada através de cada um dos seus ramos particularizados, o que aliás é conceito geral do nosso tempo.

Seguros de tão nobre quanto benévola indulgência de VV. Ex.as, estaremos então um pouco mais à vontade se do conjunto pormenorizarmos apenas um dos seus capítulos — a parte estrutural das construções — sobre a qual, na profissão, há 20 anos vimos meditando, deixando a VV. Ex.as a generalização do acerto, se acertada a julgarem.

A Engenharia Civil, como toda a arte, está em permanente evolução. Dia a dia surgem novas formas estruturais, métodos de análise mais precisos, diferentes processos de execução dos até então empregados.

As novas formas estruturais não nascem, por casual invenção ou com o intuito de originalidade, nem apenas para serem diferentes do que outros conceberam, por pretenciosa vaidade dos homens; surgem, sim, como o resultado do apaixonado e persistente estudo do anteriormente realizado em cada um dos domínios, quer nos aspectos puramente teóricos, quer principalmente na observação do funcionamento das obras, na análise dos seus defeitos ou insucessos, nas dificuldades que houve em as executar.

A evolução das formas estruturais deve-se, acima de tudo, aos que de alma e coração se dedicam inteiramente ao trabalho, dia após dia, década após década, meditando como conceber a obra mais eficiente, como poderão economizar material, tornar a obra mais segura, executá-la mais fàcilmente.

É assim que, no curto espaço de tempo da nossa vida, para idênticas condições locais e de solicitação, para iguais directrizes, a barragem ou a estrada construídas ontem são diferentes das de hoje, como as de amanhã não serão iguais às que ainda estão em curso de execução.

A barragem de outras tempos tinha o peso a assegurar-lhe a estabilidade ou, melhor, só com ele se contava; veio a seguir a barragem curva, em planta, com o que, sem dúvida, se economizou material e se aumentou a resistência, pelo facto de ao trabalho de consola se sobrepor o funcionamento de arco. Mas, o engenheiro, desejoso de cumprir a sua missão — executar o melhor possí-

vel pelo mínimo custo — curva também a barragem nas secções verticais, transformando o sólido volumétrico inicial em cúpula ou casca.

A dupla curvatura do sistema dá a este, para a mesma quantidade de material, resistência superior à da abóbada cilíndrica como esta já possuia relativamente à barragem-gravidade. Estamos a ver entre nós, para honra da técnica portuguesa, a vertiginosa passagem das barragens de Castelo do Bode ou de Venda Nova, às de Salamonde, Caniçada ou do Cabril.

E como os verdadeiros técnicos não adormecem sobre os loiros alcançados, o que virão eles ainda a conceber quanto à afinação da folha directriz, quanto à lei de variação de espessuras, quanto aos materiais aplicáveis e quanto aos processos de execução a adoptar, certos de que se está ainda longe da perfeição? Depressa o tempo o dirá.

Também, ainda não há muito se concebia uma ponte de tímpanos aligeirados, como se o arco, os muretes e o tabuleiro funcionassem isoladamente, por suposição ou, o que pior era, propositadamente à custa de cortes na estrutura, mais com o intuito de simplificar os estudos do que para eliminar ou reduzir os efeitos termo-higrométricos.

Assim se projectaram e executaram a ponte Luís I, no Porto, o viaduto Duarte Pacheco, a ponte da Foz do Sousa e tantas outras.

Ora, verifica-se que muitos desses cortes corresponderiam hoje a verdadeiros actos de vandalismo, pois é agora evidente que associando os diferentes elementos num todo monolítico resistente, há-de fatalmente obter-se uma maior segurança com menos material. Mas a evidência só resultou depois de intensiva análise algébrica e experimental do comportamento das estruturas reais e à escala reduzida, pela natural evolução das formas estruturais.

Mas se a melhor análise e conhecimento do funcionamento das barragens, ou da ponte, conduziram a novas estruturas de impressionante esbelteza, graças ainda às crescentes resistências dos materiais, que triplicaram em 25 anos, tal é o caso dos betões, das alvenarias e dos aços — em oposição vemos erguer, apenas em meses de trabalho, e também econòmicamente, construções cujas massas ensombram remotas maravilhas. Bastará citar, entre nós, a barragem de Paradela — «record» do mundo do tipo enrocamento — e cujo volume excede o da grande pirâmide de Chéops, onde inteiramente se consumiram 100 mil vidas de trabalho humano.

Tal se deve à incessante evolução dos mastodônticos meios mecânicos que a indústria actual põe à disposição do Engenheiro Civil, que permitem a um único homem, num só dia, movimentar milhares de m^3 de produtos, e aos actuais processos de desmonte de pedreiras, que, em segundos, destroçam de montanhas dezenas de milhares de m^3 de materiais.

Também a moderna estrada, quer nos aspectos de estudo e traçado, quer nos meios de construção e «contrôle», quanto diferente é hoje do que era antes do tráfego mecânico!

A redução ou eliminação dos pontos de conflito, com o emprego de nós de circulação racionalmente estudados; os raios das curvas, as concordâncias destas aos alinhamentos rectos e as suaves inclinações, permitindo velocidades médias de 100 a 200 km/h; o perfil transversal comportando amplas faixas, e a sinalização; a impressionante regularidade dos pavimentos antiderrapantes, que não consentem ondulações superiores a escassos milímetros; o estudo muito particular dos solos para que não atinjam o estado de rotura e se limitem os assentamentos diferenciais a valores aceitáveis; enfim, os cuidados especiais de execução dos aterros no que se refere às características das terras e à sua compactação;

— tudo isto, visão da nossa infância, realidade de hoje, é insistentemente analisado em Laboratórios fixos e móveis, é estudado nos gabinetes e nos próprios locais de trabalho.

E que se esperará do futuro se existem já planos e troços experimentais de autoestradas electrónicas em que os automobilistas podem circular a velocidades superiores a 200 km/h em segurança dita absoluta, inteiramente despreocupados e apenas entregues aos comandos electrónicos dos seus carros?

Análoga evolução se opera nos caminhos de ferro.

Quanto aos materiais, quem ousaria pensar há meio século atrás que seria hoje perfeitamente exequível uma alvenaria capaz de resistir a tensões de compressão de 500 a 1000 kg/cm² sem necessidade de qualquer aparelho das pedras naturais e com argamassas cuja resistência é duas a três vezes menor? Ou, que se podem obter alvenarias de resistência sensìvelmente duplas das dos betões executados com pedra de igual qualidade?

Alguém diria há 40 anos que os estudos granulométricos dos inertes dum betão e a melhoria das características dos cimentos permitiriam adoptar tensões de segurança de 150 kg/cm², assinaladas em tantas obras já em serviço, ou mesmo 180 kg/cm² como foi autorizado adoptar em certos casos de solicitação no projecto da ponte sobre o Douro, em execução na cidade do Porto, quando ainda a desactualizada legislação em vigor considera como limites, no máximo, metade desses valores?

E seria ainda de prever, há 20 ou 30 anos atrás, que a indústria siderúrgica lançasse nos mercados aços especiais de resistências entre 100 e 200 kg/mm², portanto com tensões de serviço cinco a dez vezes superiores às dos aços maçios e custando apenas duas a três vezes mais?

O progresso destes dois últimos materiais — do betão e do aço — deu lugar, nos nossos dias, a um novo material, ao qual está ligado o nome de Freyssinet, não como inventor, mas como seu principal impulsionador, o *betão preesforçado*, material persistentemente em estudo de aperfeiçoamento por alguns milhares de engenheiros e aplicado por centenas de milhares de técnicos de todo o mundo nas mais variadas obras.

A vastidão e a economia resultante do emprego deste material é tal, que a matéria constitui nada menos que três das directrizes dum recente e importante plano de fomento estrangeiro, onde, em 1960, se espera consumir em elementos pré-fabricados 7 milhões de m³, o que daria para executar 20 mil prédios de 10 andares.

Como o aço, «rei e senhor» no século findo, o betão preesforçado é hoje o material que mais e melhor caracteriza a Engenharia Civil actual.

Também a associação do aço macio a pequenas porções de aço de alta resistência, posto em estado de tensão, ou ainda a destes dois aços com betões, conduziram a novos materiais da nossa época, ao *aço preesforçado*, e ao misto *aço betão*, com os quais se podem executar edifícios, pontes hangares, coberturas diversas, depósitos, etc., já em uso entre nós.

As resistências das alvenarias, dos betões e dos aços, para não falar de outros produtos, como o «néoprène», que veio substituir muito vantajosamente em certos casos os aparelhos de apoio das estruturas, resistências essas evidentemente variáveis com o tipo e forma como as solicitações actuam, funções do tempo, não são as únicas características intrínsecas bem conhecidas dos materiais.

O homem determina e domina outras características, como a contracção, dilatação e embebição, a compacidade, a fluência e a relaxação, etc., grandezas que foram responsáveis pelos primeiros insucessos do betão preesforçado ou que puseram em dúvida as possibilidades das estruturas mistas, ... e sabe entrar nos seus cálculos com elas de forma mais ou menos precisa.

No que se refere ao cálculo — determinação dos esforços, tensões ou deformações, capacidades de resistência, deslocamentos, vibrações, etc., — por outras palavras: quanto ao estudo do funcionamento das estruturas, dos solos de fundação ou dos maciços terrosos, da torre ou do monumento, da estrada ou do túnel, dos mais variados movimentos das águas, da transmissão do calor ou do som, da barragem ou da ponte — quaisquer que sejam os materiais — a técnica de hoje bem diferente é, também, da do século passado!

De facto, tais estudos são hoje dominados com maior ou menor exactidão pelo Engenheiro Civil, graças à evolução da Investigação Experimental Científica.

Na verdade, é-lhe possível determinar tudo isso em cada um dos próprios pontos do sistema, utilizando métodos e aparelhos mais ou menos simples ou complicados, que entraram já na prática corrente.

Com maior ou menor rigor e tendo presente a diferença fundamental entre o engenheiro,

mesmo que seja investigador, que se contenta com o aproximado, e o matemático, que ambiciona o exacto, pode determinar-se, por exemplo, o estado de tensão em que se encontra certo ponto do arco da ponte D. Maria Pia, ou de determinada barra da torre Eiffel e, ainda mais fàcilmente, as variações das tensões resultantes duma alteração das grandezas solicitantes dessas estruturas.

Anàlogamente, não há já dificuldade em saber se existem quaisquer defeitos ou anomalias no interior duma peça, seja ela de aço ou de betão; ou em obter o módulo de elasticidade longitudinal de certa zona duma barragem ou dum pilar dum viaduto; ou em calcular a importância duma fissura duma estrutura de aço ou de materiais pétreos, sem de qualquer modo afectar as obras, aplicando métodos não destrutivos, ao nosso alcance.

E é também já do domínio da Engenharia Civil actual reconhecer um solo por sondagens ultra-sónicas, de refracção sísmica ou de resistividade eléctrica, como lhe é possível determinar a forma e importância do caminhamento de areias motivado por acção eólica ou hidráulica.

Mas o que no aspecto de cálculo mais caracteriza a técnica actual da Engenharia Civil é, sem dúvida, o estudo e o comportamento das estruturas por via experimental à escala reduzida.

As acções das vagas sobre um porto de mar, a pressão da água ou a solicitação excepcional dum tremor de terra sobre uma barragem, os efeitos da passagem dum comboio sobre um viaduto, a acção do vento sobre uma torre, hangar, ponte, depósito ou alto edifício; as questões de infiltração ou drenagem dos maciços terrosos, da acústica ou do isolamento térmico e, ainda, enfim, todos aqueles enumerados problemas de Reologia, *podem ser conhecidos de avanço*, através da análise de modelos reduzidos das estruturas, nos quais se respeitem todas ou apenas algumas das condições de semelhança.

Consumindo um modelo reduzido apenas um volume de material milhares ou milhões de vezes menor que o da estrutura real e não tendo significado as horas dispendidas pelos técnicos, nem valor a aparelhagem necessária à sua análise, perante a economia e segurança obtidas, ficará, pois, ao alcance do Engenheiro Civil estudar quantas soluções entender, sem recear perder tempo, porque é dinheiro que está a poupar.

Deste modo, pela observação do funcionamento dos modelos será conduzido, com paciência e criterioso bom senso, a eliminar as piores soluções e a aperfeiçoar as melhores, dedicadamente cumprindo o seu mais alto dever, de projectar com o mínimo custo a obra mais segura e mais bela dos seus dias!

Não se subentenda, no entanto, que a investigação experimental sobre modelos reduzidos coloca em segundo plano os cálculos algébricos. Pelo contrário, a Resistência dos Materiais e as teorias mais gerais da Elasticidade e da Plasticidade, a Mecânica dos Solos, a Hidrodinâmica ou a Reologia Particular, em cada caso e cada vez, têm mais geral aplicação. É que o técnico não se contenta em observar o fenómeno; anseia pela sua explicação teórica, e esta só aquelas Ciências lha podem dar.

E assim, as especulações do espírito e a experimentação, a par e passo, abrem caminho para o insatisfeito desejo da pureza das soluções.

Os processos de execução das obras de Engenharia Civil seguem naturalmente a evolução das estruturas resistentes, dos processos de cálculo, e dos materiais. Mas os factores que mais os afectam são, sem dúvida, o extraordinário desenvolvimento dos meios mecânicos e a mais ampla industrialização. A máquina, seja ela fixa, amovível ou móvel, cada vez é mais potente, mais rápida, mais perfeita; cada vez se adapta à crescente carência da mão-de-obra e às fontes de energias disponíveis.

É assim que se executam, em horas, estacas de fundação de um a dois metros de diâmetro, capazes de suportarem mais de meio milhar de toneladas, mesmo que tenham de ser cravadas a 70 ou 100 m de profundidade.

Os edifícios passam a ter uma estrutura resistente, ou ossatura, formada por pilares e vigas, que se completa em semanas ou meses.

A pré-fabricação assume a mais elevada importância. Já não é a viga ou o pilar que se fabri-

cam antecipadamente e se colocam no lugar depois de prontos. São grandes massas das construções — paredes e pavimentos inteiros, com todos os seus acessórios — que vão para o ar duma só vez e se põem em posição mais ràpidamente que uma pedra de perpianho.

As construções resultam assim mais baratas, executam-se mais depressa, ficam mais leves e resistem melhor, nomeadamente aos sismos. A cor lisa e variada substitui, na decoração, as molduras e todos os outros tipos de ornamentação.

Em meses constroem-se estradas e caminhos de ferro que há meio século atrás demoravam anos ou ocupavam dezenas de vezes mais braços.

Betonam-se, em dias, grandes silos, torres ou pilares, utilizando apenas como molde um pequeno troço deslizante em movimento permanente.

Lançam-se ou constroem-se, no espaço, estruturas com centenas de metros de vão, não importa de que material, sem o emprego de cimbres ou cavaletes. E anàlogamente se elevam, baixam ou se deslocam estruturas construídas fora do lugar, pesando milhares ou dezenas de milhares de toneladas.

E quantos mais exemplos poderiam ser apresentados?

O que resulta do exposto e quais as possibilidades construtivas?

A técnica actual permitiria executar, com a maior segurança, uma ponte de granito de 1.000 metros de vão, ou seja 6 vezes maior que a de Luís I.

Poder-se-ia igualmente construir a ponte sobre o Tejo, entre Lisboa e Almada, sem necessidade de quaisquer apoios na extensão de 2 a 3 km, segundo concepções e com materiais já de posse do Engenheiro Civil.

Com os betões que hoje se fabricam, não haveria dificuldade em construir torres, barragens ou arranha-céus de mais de mil metros de altura.

Perante o estado actual da técnica, não é problema o sonho da abertura do túnel da Mancha, ou do túnel dos Dois-Mares, através da França, ou o de secar o Mediterrâneo, pela construção duma barragem no Estreito de Gibraltar e outra nos Dardanelos, retendo as águas repectivamente do Atlântico e do Mar Negro.

Como também se poderia realizar, nos nossos dias, uma rede de autoestradas electrónicas a cruzar e inter-ligar os continentes.

Mas não são estas construções «julio-verneanas» que nos interessa apreciar. A nossa finalidade restringe-se a pôr em evidência sòmente aquilo que nos nossos dias é econòmicamente realizável, em confronto com as possibilidades existentes no limiar deste século.

O que importa sobremaneira salientar é o valor do rendimento do trabalho intelectual, dos materiais, e do tempo; sem receio de exagero, poderemos admitir ser duplo do de há 30 anos.

Vejamos alguns exemplos concretos da nossa especialidade.

Com o betão e o aço que se empregaram na passagem inferior da autoestrada Lisboa-Estádio, na Cruz das Oliveiras, era agora possível executar duas pontes análogas... e tem essa obra menos de 20 anos; a ponte de Abragão, sobre o rio Tâmega, de um arco de alvenaria de 60 m — já com metade do volume de um outro de idêntico vão, construído 10 anos antes — poderia igualmente ser executada com menos material e com uma terça parte da mão-de-obra de canteiro, trabalho perdido no inglório aparelho das aduelas, hoje inteiramente dispensável sob os pontos de vista técnico e estético;

— não foi preciso passarem 15 anos para que o betão consumido num arco de 80 m duma ponte rodoviária chegasse para executar um outro de vão três a quatro vezes maior ou que a espessura útil dum pilar de alvenaria de cerca de 60 m de altura se reduzisse de 5 m a 80 cm;

— se o tabuleiro da ponte rodoviária de Caminha, ainda em execução, tivesse sido calculado por via experimenral, em vez de se gastarem, números redondos, 400 vigas de betão preesforçado, bastaria aplicar 300, com vantagem ainda para a estabilidade dos pilares. E a construção e ensaio do modelo reduzido não custaria mais do que uma das 100 vigas que se poupariam;

— anàlogamente, a ponte Marechal Carmona ficaria algumas dezenas de milhares de contos

mais barata se, há dez anos atrás, a técnica do betão preesforçado tivesse o desenvolvimento actual;

— ousamos ainda afirmar que a futura ponte sobre o Tejo, em Lisboa, será, possìvelmente, suspensa, mas pouco virá a ter de comum com a obra americana «record» do vão, de Golden Gate, nem até com a recente ponte da mesma traça sobre o Estreito de Mackinac, como não será também estritamente do tipo «quadrifune», cujo vão limite é duplo do das pontes clássicas de vigas de rigidez, nem ainda sequer ficará semelhante à de Tancarville, ainda em execução.

O que dissemos acerca de pontes estende-se, naturalmente, a toda a longa série enumerada de construções. Não se trata de invenções ou duma revolução-relâmpago da técnica, mas sim:

— do melhor aproveitamento das características dos materiais, graças aos amplos conhecimentos que deles possuimos;

— de formas estruturais mais apropriadas a suportarem as solicitações;

— da evolução dos métodos de trabalho e dos processos de execução;

— da mais desenvolvida análise do comportamento das estruturas realizadas;

— e, acima de tudo, das vastas possibilidades da Investigação Experimental Científica, particularmente no que respeita aos ensaios e estudos em modelo reduzido das estruturas a conceber e a calcular.

Tudo isto se encontra, em potencial, à disposição da Engenharia Civil dos nossos dias. Mas para que se aproveite com toda a sua plenitude não pode faltar ao projectista, ao executor e a quem dirige, a melhor virtude que um homem deve ambicionar possuir no mais alto grau — o bom senso!

Bom senso dos primeiros na aplicação específica dos seus conhecimentos, sabendo aceitar o mérito e as críticas construtivas da experiência e estudo dos outros, não receando revelar as suas incertezas ou os seus erros.

Bom senso do chefe ou dirigente, na indispensável organização do trabalho em equipa, não regateando meios para especializar cada um dos seus técnicos, facultando a estes, em particular, não só Laboratórios de Experimentação, mas ainda a análise directa e sistemática das próprias obras, além de livros, revistas e projectos, e toda a espécie de intercâmbio de conhecimentos.

Ora, têm os governantes de todos os países a mais sublime e humanitária preocupação de que os seus semelhantes adquiram, dia a dia, o melhor e mais progressivo bem-estar; de que «a Ninguém falte o Pão e a Casa».

Gizam-se, para o efeito, cada vez mais grandiosos planos nacionais de fomento, a que todos e a todo o transe ambicionam dar cumprimento, com a máxima eficiência.

O planeamento das obras é executado com o maior pormenor. Tenta-se acompanhá-lo com a formação de técnicos e dirigentes em número e qualidade, através do ensino e da Investigação Aplicada, visto que não se pode conceber e executar uma obra naquele alto nível desejado, se não existirem especialistas competentes, como tantos, antes de nós, já fizeram notar.

Os governantes sabem, de facto, que são necessários mais engenheiros, mais especialistas, mais laboratórios e, acima de tudo, mais professores especializados; sabem que é indispensável formar organizações especializadas para todos os ramos da actividade humana, como sabem também que a Investigação Aplicada é essencial, ao progresso, à vida dos povos!

A nossa consciência, com profunda mágoa e o maior respeito, leva-nos a dizer que os governantes sabem, ainda, que os acidentes e desastres que se têm vindo verificando na condução dos trabalhos e o que a mais se tem gasto, de dinheiro e tempo, em muitas das obras realizadas, não são excepções ou casos fortuitos.

Pontes que caíram antes mesmo de entrarem em serviço; estradas inutilizadas prematuramente; muros-cais que se afundaram ou que ficaram destruídos aos mais ligeiros temporais; condutas que rebentaram ao entrarem em pressão; edifícios que à pressa se consolidaram para não ruir!

E não é também estranho para os governantes, serem esses e outros exemplos de desprestígio ocasionados, sem dúvida, por se ordenar a execução de trabalhos que, se tivessem sido analisados na fase do projecto, ficariam irremediàvelmente reprovados; por se entregar as obras a técnicos que não estavam à altura de as conceber e executar; por desleixo ou falta de nível dos chefes de

trabalho; porque se preferiu economizar em estudos e gastar nas obras; por se dispensar a especialização dos técnicos.

Isto, nos nossos dias, em flagrante contraste com o que de maravilhoso a técnica actual da Engenharia Civil permitiria realizar.

Os governantes, os dirigentes das organizações especializadas e os técnicos especialistas, cada um no seu campo de acção, sabem do que necessitam e o que têm que promover para que as suas obras sejam o mais alto padrão da prosperidade intelectual e material da sua nação.

Referimo-nos ao que vai pelo Mundo.

Resta-nos uma certeza: a de que Portugal saberá impor-se, por direito, como sempre,

porque temos Fé!

Terminamos como havíamos começado: pedindo benevolência a VV. Ex.as para as nossas desalinhadas e irreverentes palavras, apenas acrescentando que sobre nós pese a sanção da lei da justiça terrena se nesta causa somos réu, como professor, como engenheiro ou como homem.

Tenho dito.

MAGUE

S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA

Alverca — Portugal

Grua de dragar diesel eléctrica { Carga . . . . . 16 t / Alcance . . . . 13 m }

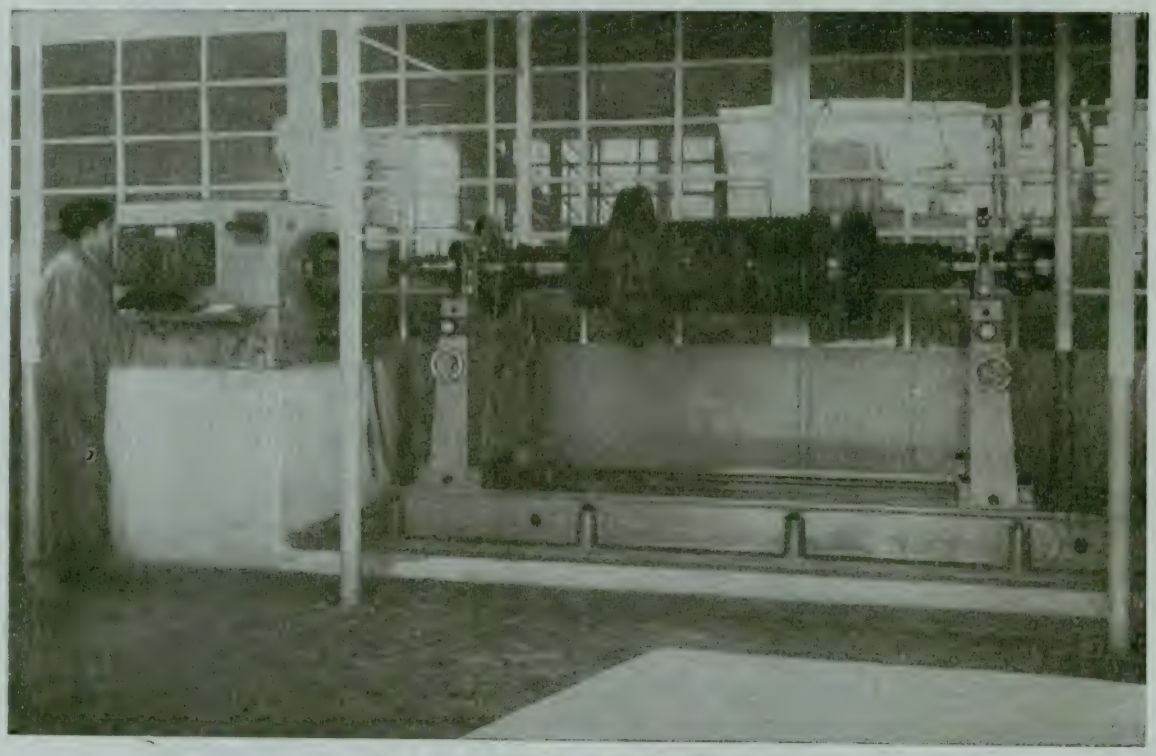
Destinada a trabalhar sobre batelão flutuante nas obras de ampliação do Porto do Funchal. — ENSAIO DE CARGA EM FÁBRICA

PROJECTO E FABRICO DE

PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS, DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS

A COMPANHIA UNIÃO FABRIL

põe à disposição dos seus clientes no Estaleiro Naval:



— Uma oficina de Ensaios e Reparação Diesel

— Uma máquina electrodinâmica de equilibragem para rotores de 30 a 3000 Kgs. — 2 M. de diâmetro máximo — 3,420 m. entre apoios.

ROCHA DO CONDE DE ÓBIDOS

LISBOA

Telef. 66 21 48

C. D. U. 546.212.02.002

PROCESSOS DE FABRICO DE ÁGUA PESADA[1]

PELO ENG.º QUÍMICO (I. S. T.) J. M. PEIXOTO CABRAL

Vários processos têm sido propostos para produzir água pesada. Neste trabalho descreve-se em linhas gerais o mecanismo dos processos mais importantes do ponto de vista industrial, a saber: a electrólise da água; a electrólise da água associada com a permuta isotópica entre hidrogénio e água; a destilação do hidrogénio líquido; a destilação da água; as permutas entre ácido sulfídrico e água, entre hidrogénio e água e entre amoníaco e hidrogénio, a duas temperaturas. Apontam-se ainda algumas das suas vantagens e inconvenientes e o estado actual do seu desenvolvimento.

Para fabricar água pesada é preciso separar o deutério do seu isótopo de número de massa um, com o qual se encontra sempre associado na natureza em proporção pràticamente constante e igual a cerca de 1:6750 átomos.

Esta grande diluição e ainda o facto de se tratar de espécies com propriedades químicas análogas, constituem as maiores dificuldades do problema.

No entanto já se conhecem numerosos processos de fabrico deste produto, quer partindo da água natural como matéria prima, quer utilizando o hidrogénio.

Neste último caso é evidente que não convirá produzir hidrogénio com o único fim de extrair dele o deutério, pois o hidrogénio é já por si um produto caro.

Por este motivo classificar-se-ão os processos de fabrico de água pesada em duas categorias:
I — Processos ligados à produção de hidrogénio, os quais para serem económicos devem ser aplicados numa fábrica valorizadora desse hidrogénio (geralmente nas fábricas de amoníaco);
II — Processos independentes de qualquer produção de hidrogénio e cuja matéria prima é a água ordinária.

Neste relatório far-se-á apenas referência aos processos de maior interesse industrial.

I — Processos associados à produção de hidrogénio

I — Electrólise da água

Quando se faz a electrólise da água, verifica-se que o hidrogénio libertado contém uma percentagem de deutério ligeiramente menor do que a da água que permanece no electrolisador.

A electrólise da água dá assim lugar ao enriquecimento do electrólito em deutério, até se atingir o estado estacionário no electrolisador, que é definido pela igualdade das quantidades de deutério que entram e saiem do electrolisador, por unidade de tempo.

Não se conhece exactamente o mecanismo deste enriquecimento. Sabe-se, todavia, que há certas variáveis que afectam a factor de separação[2] entre elas a temperatura, a natu-

(2) Se for x a fracção de deutério no electrólito, num dado instante, e y a fracção de deutério no hidrogénio libertado, no mesmo instante, o factor de separação é definido por $\alpha = \frac{x}{1-x} \Big/ \frac{y}{1-y}$, expressão que pode substituir-se por $\alpha = x/y$, sem erro apreciável, para fracções de deutério inferiores a 0,02.

(1) Relatório apresentado pelo Amoníaco Português — SARL., à 1.ª Reunião dos Técnicos Portugueses de Energia Nuclear, actualizado.

reza do cátodo e o seu grau de contaminação. Com efeito:

(I) O factor de separação diminui à medida que a temperatura aumenta. À temperatura de cerca de 80° C, por exemplo, à qual se realiza a electrólise da água nos electrolisadores industriais do tipo filtro-prensa, o factor de separação oscila regra geral entre 3 e 8. Por outro lado, obtiveram-se em ensaios laboratoriais factores de separação da ordem de 20, para temperaturas de electrólise mais baixas. Deduz-se daqui que seria vantajoso trabalhar a temperaturas baixas, para realizar a concentração de água pesada, mas isso não é praticável por diminuir grandemente o rendimento da electrólise.

(II) O factor de separação varia também com o material de que é feito o cátodo. Verificou-se, por exemplo, que os factores de separação mais elevados se obtém com cátodos de ferro ou de aço.

(III) Sabe-se ainda que a aglomeração de impurezas no cátodo faz diminuir o factor de separação.

O enriquecimento do electrólito em deutério é na verdade relativamente pequeno. Se se fizer o balanço da quantidade de deutério que entra e sai dum dado electrolisador na unidade de tempo, imediatamente se deduz que o factor de enriquecimento do electrólito nunca é superior a α, isto é, $x/x_0 < \alpha$ (3). Assim, tomando para α o valor 7 e para x_0 o valor 0,015 % (molar), conclui-se que a concentração de deutério do electrólito será, nestas condições, sempre inferior a 0,1 %.

Torna-se necessário, portanto, efectuar a distribuição dos electrolisadores por andares, para se produzir água pesada mais concentrada. A figura 1 dá uma idéia da cascata que se utiliza na prática para realizar o enriquecimento progressivo do electrólito.

Como se vê na figura, a alimentação de cada andar da cascata é feita agora com água proveniente da condensação do vapor que acompanha os gases libertados no andar anterior. A capacidade da electrólise vai assim diminuindo de andar para andar.

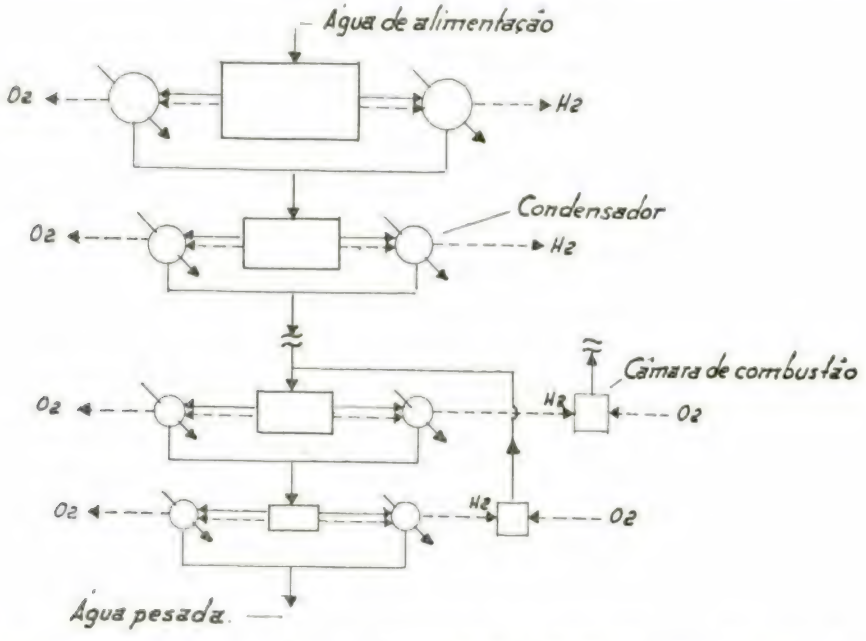


Fig. 1 — Cascata de electrolisadores, com recirculação de hidrogénio nos últimos andares

Convém notar que não são só os condensados, obtidos nos diversos andares da cascata, que se vão enriquecendo em deutério. A concentração de deutério no hidrogénio vai também aumentando e, para que o rendimento de extracção da

(3) x é a fracção de deutério no electrólito e x_0 é a fracção de deutério na água de alimentação. x_0 é apròximadamente igual a 0,00015 para a maior parte das águas naturais.

água pesada seja aceitável, é necessário recircular o hidrogénio em alguns dos andares da cascata.

O cálculo do andar da cascata onde convém iniciar a recirculação do hidrogénio, para se produzir a máxima quantidade de água pesada justificável do ponto de vista económico, efectua-se estabelecendo em cada caso particular o balanço económico entre o hidrogénio (matéria-prima da síntese de amoníaco) que se perde na queima e a água pesada que se fabrica com ele adicionalmente.

Num exemplo apresentado por Benedict (1) duma instalação de electrólise da água com a capacidade de 4.545 Kmole/dia de hidrogénio, verifica-se que a recirculação só começa a ser justificável a partir do 4.º andar duma cascata de 15. O rendimento de extracção é nesse caso apròximadamente igual a 33 %. Já é económico iniciar a recirculação no 5.º andar mas, em contrapartida, o rendimento passa a ser de 24 %.

O consumo específico de energia é muito elevado. No caso citado por Benedict, de se efectuar a recirculação a partir do 4.º andar da cascata, ele é de cerca de 120.000 kWh/kg de água pesada.

Deduz-se, portanto, que o processo pode prestar-se para produzir água pesada concentrada (a 99,8 %) como subproduto duma instalação de electrólise da água. Apenas o rendimento de extracção terá necessàriamente que ser baixo, se bem que dependa das condições locais.

Era este o processo utilizado pela Norsk Hydro Company, antes da guerra. Ele foi depois modificado.

* * *

Faz-se notar que o preço de custo da água pesada depende essencialmente (mais de 90 %) da primeira fase de enriquecimento, isto é, desde a concentração de 0,015 % (molar) até 1 % a 2 %. O preço do enriquecimento posterior não exerce pràticamente influência, em virtude das quantidades de matéria a tratar serem então relativamente pequenas.

Por este motivo, o processo da electrólise da água, embora não se justifique para realizar o enriquecimento completo da água pesada, pode ser aplicado com vantagem para efectuar o enriquecimento de água já parcialmente enriquecida. Neste caso é mesmo um dos mais vantajosos, por possuir um factor de separação elevado e, sobretudo, por ser fácil de operar e não dar lugar a perdas (bastante significativas na última fase de concentração).

É, por exemplo, o processo adoptado pelos americanos na sua grande fábrica de Savannah River, para realizar a concentração final da água pesada, desde cerca de 90 % até 99,8 %.

O processo da electrólise da água pode ser ainda associado a outros processos, com certas vantagens do ponto de vista económico. Destacam-se em particular as combinações com o processo de destilação do hidrogénio líquido e com o de permuta isotópica entre hidrogénio e água, de que se falará a seguir.

2 — Electrólise da água associada com a permuta isotópica entre hidrogénio e água

O processo de permuta isotópica entre hidrogénio e água baseia-se na reacção,

$$HD + OH_2 \rightleftarrows H_2 + OHD$$

cuja constante de equilíbrio, $K = \frac{[H_2]\ [OHD]}{[OH_2]\ [HD]}$

tem os seguintes valores:

Temperatura °C	50	80	120	200	400	700
K	3,05	2,74	2,41	1,98	1,52	1,24

Se se misturarem por exemplo volumes iguais de hidrogénio e água, ambos ordinários, verifica-se que se dá uma transferência de deutério do hidrogénio para a água.

O processo é contudo difícil de realizar na prática. A reacção é extremamente lenta, necessitando de ser catalisada. Vários catalisadores têm sido utilizados, como níquel, cromo-níquel e principalmente platina.

Outra dificuldade do processo reside na necessidade de se trabalhar em fase gasosa, por se não ter encontrado ainda um catalisador que não seja envenenado pela água em fase líquida. Os catalisadores que se conhecem são também envenenados por diversas substâncias como óxido de

(1) Proc. Internat. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, 1955, 8, 377.

carbono, ácido sulfídrico e outros compostos sulfurados e, por isso, o processo tem de limitar-se ao hidrogénio puro, ou seja, ao hidrogénio electrolítico.

Este processo de permuta foi associado à electrólise com o fim de aumentar o grau de recuperação do deutério que acompanha o hidrogénio libertado na cascata de electrolisadores, isto é, de elevar o rendimento de extracção cujo valor é muito baixo na electrólise.

Foi proposto nos U. S. A. por Urey e Taylor em 1941 e, simultâneamente, por Harteck, Hoyer e Suess na Alemanha. Os alemães aplicaram-no na Norsk Hydro Company durante a guerra e, em 1942, montava-se também uma fábrica em Trail, no Canadá, com a capacidade de cerca de 6 toneladas/ano de água pesada.

O esquema desta última instalação era semelhante ao referido na alínea anterior, isto é, tratava-se duma cascata electrolítica com recirculação de hidrogénio a partir do 4.º andar, que era para isso queimado. A diferença residia no 2.º e 3.º andares da cascata, onde foram intercaladas torres de permuta do tipo da que se apresenta na figura 2.

A água de alimentação do grupo de electrolisadores, que constituem um dos andares da cascata electrolítica, passa primeiro por uma torre de permuta em contra corrente com o hidrogénio libertado nesse andar. A água entra na torre para dois pratos superiores de absorção e daí corre directamente para os restantes pratos sem passar pelas câmaras de catálise. Entra depois num ebulidor, onde é em parte vaporizada, e o resto segue para os electrolisadores. A temperatura de trabalho das torres é de cerca de 70º C.

O vapor de água produzido no ebulidor é por sua vez associado ao hidrogénio libertado na electrólise e a mistura é circulada na torre através dos pratos de absorção e das câmaras de catálise. É aqui que se realiza a transferência de parte do deutério do hidrogénio para o vapor. Este é depois condensado e recirculado.

Com este esquema já é possível conseguir um rendimento de extracção de cerca de 62 % mas, na prática, o rendimento da instalação de Trail não ia além de 50 %.

O preço de venda da água pesada fabricada em Trail era de 132 dólares/Kg e o custo de laboração andava à volta de 77 dólares/Kg. Em consequência do abaixamento do preço de venda para 62 dólares/Kg esta instalação foi fechada no início de 1956.

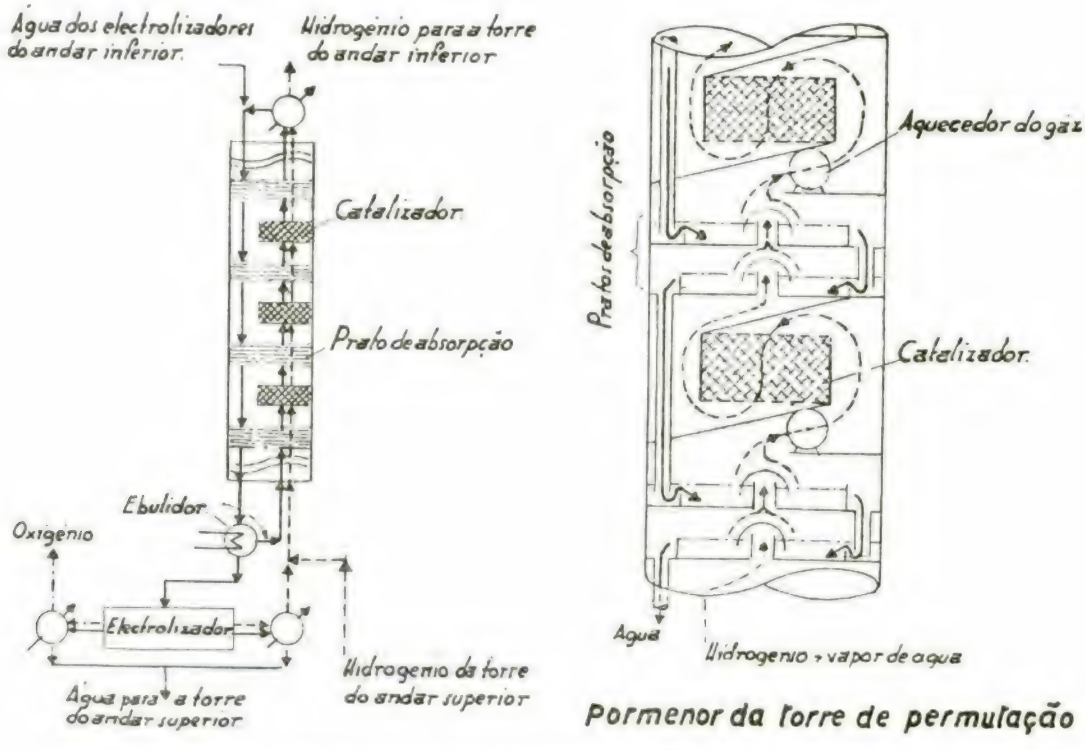


Fig. 2 — Associação da permuta entre hidrogénio e água com a electrólise da água

Segundo Benedict [1], o processo poderá contudo ser mais económico do que em Trail, caso se projecte actualmente uma nova fábrica, com células electrolíticas mais eficientes, com alterações e aperfeiçoamentos nas torres de permuta e que use o processo Kuhn de destilação da água como processo final de enriquecimento. Assim, uma fábrica associada a uma instalação de electrólise da água com a potência de 140.000 Kw, poderá produzir 15,5 toneladas/ano de água pesada, ao preço de 58 dólares/Kg, com um rendimento de extracção de cerca de 53 %. Trata-se, porém, de uma fábrica muito grande e, se a capacidade for pequena, o processo não poderá em geral concorrer com outros mais económicos.

Quanto à instalação da Norsk Hydro Company, ela continua a funcionar e a sua capacidade de produção já atingiu 18 toneladas/ano.

3 — Destilação do hidrogénio líquido

Este processo baseia-se na diferença entre as tensões de vapor do deutério e do hidrogénio de número de massa um. O seu factor de separação, que pode definir-se pelo cociente daquelas tensões de vapor, é igual a 1,83 nas condições normais de ebulição, da mesma ordem de grandeza portanto que o das destilações clássicas.

Na prática o factor de separação é todavia um pouco mais baixo, sobretudo porque é indispensável trabalhar acima da pressão atmosférica para evitar entradas de ar na coluna de destilação de consequências muito graves. À pressão de 1,6 atmosferas, por exemplo, ele é da ordem de 1,4.

O princípio de funcionamento deste processo é muito simples. O hidrogénio, depois de purificado, é liquefeito e enviado para uma primeira coluna de destilação. Nesta coluna não é ainda possível separar deutério puro, pois o deutério que se encontra no gás que serve de matéria-prima existe apenas sob a forma de HD e à temperatura de destilação (cerca de 20° K) não se consegue atingir o equilíbrio da reacção $2HD \rightleftarrows H_2 + D_2$. É preciso aquecer o gás à temperatura ambiente para conseguir a sua dissociação em deutério e hidrogénio de número de massa um. Depois disso o gás é novamente liquefeito e introduzido numa outra coluna de destilação. O deutério puro obtido é então aquecido até à temperatura ambiente e, finalmente, é queimado e transformado em água pesada.

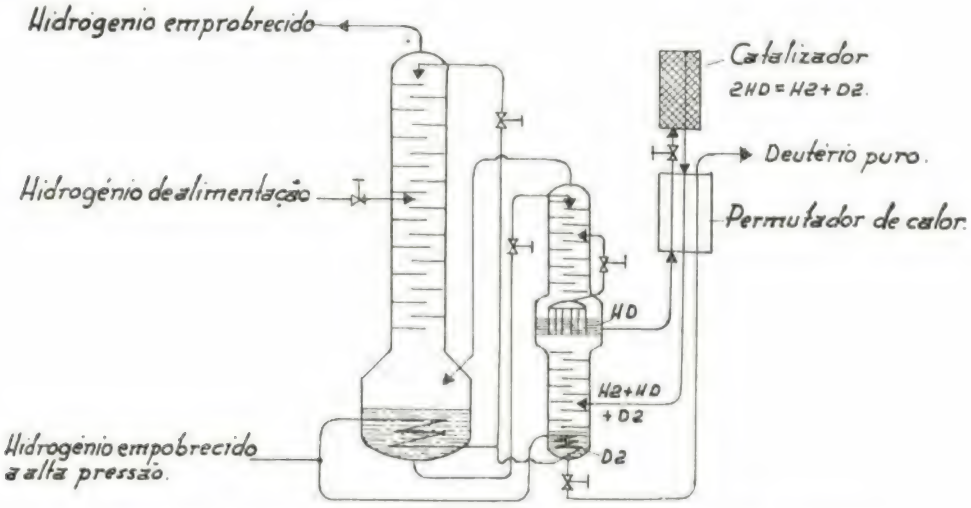


Fig. 3 — Destilação do hidrogénio líquido, segundo o esquema proposto por Clusius e Starke

Este processo possui vantagens muito importantes: o seu rendimento de extracção é bastante elevado, podendo atingir valores da ordem de 95 %; o consumo específico de energia é baixo, em certas condições inferior a 2.000 kWh/kg (no caso do hidrogénio electrolítico) e a 3.200 kWh/kg (no caso do gás de síntese).

(1) Conferência proferida em Reykjavik, em 6 de Setembro de 1956.

Apresenta em contrapartida desvantagens de ordem tecnológica muito grandes, resultantes principalmente de ter que se trabalhar a temperaturas muito baixas. Se o gás de alimentação das colunas não for convenientemente puro e isento de oxigénio e azoto, estas impurezas solidificarão à temperatura de trabalho obstruindo as condutas e os permutadores de calor. Outra grande dificuldade é evitar a conversão de orto-hidrogénio (em que os dois núcleos da molécula têm «spins» paralelos) em para-hidrogénio (em que os «spins» estão em oposição). Esta reacção é exotérmica e a sua realização implica portanto o aumento do consumo específico de energia. Além disso os problemas de isolamento térmico são complicados.

Já em 1943 se tinha encarado, nos U. S. A., a possibilidade de aplicar este processo, projecto que foi estudado pela Hydrocarbon Research Inc.. Pensava-se fabricar cerca de 38 toneladas/ano de água pesada, a partir do gás de síntese duma fábrica de amoníaco com a capacidade de 550 toneladas/dia. O rendimento de extracção seria de 86 %, o consumo específico de energia aproximadamente 3800 kWh/kg de água pesada e o preço de custo de 70 dólares/kg. O projecto foi, porém, abandonado devido em parte às dificuldades apontadas anteriormente e à falta de experiência em manipular quantidades tão grandes de hidrogénio líquido e, por outro lado, porque 38 toneladas de água pesada eram insuficientes nessa altura para a Comissão Americana de Energia Atómica. Preferiram por isso recorrer a um processo menos complicado e independente, acabando por escolher o processo de permuta entre ácido sulfídrico e água, de que se falará adiante.

Na Europa o processo não foi abandonado, havendo já hoje 2 instalações piloto a funcionar em regime de experiência, uma em França, construída em Toulouse pela Air Liquide com a colaboração da O. N. I. A. e do C. E. A., e outra na Alemanha, montada em Frankfurt (Höchst) pela Linde em colaboração com a Farbwerke Höchst. Ambas são alimentadas com gás de síntese, a primeira com a capacidade de 4000 m^3/h, podendo produzir cerca de 2 toneladas/ano de água pesada, e a segunda com a capacidade de 10.000 m^3/h e a produção de 6 toneladas/ano. É, contudo, demasiado cedo para fazer julgamentos definitivos sobre o comportamento destas instalações, onde há ainda muito que aperfeiçoar.

A firma suiça Sulzer está a montar outra instalação piloto, com a capacidade de produção da ordem de 2 toneladas/ano.

Segundo Malkov, a U. R. S. S. possui também uma instalação industrial de destilação de hidrogénio líquido alimentada com hidrogénio electrolítico, que se destina a efectuar a preconcentração do deutério até 7-9 % de HD. A fábrica trabalha há anos em regime contínuo. Malkov afirma, na sua comunicação à Conferência de Genebra, que o processo já está suficientemente desenvolvido na U. R. S. S. para ser aplicado à escala industrial. Mas não faz referência às razões que limitam a concentração do produto ao valor de 7-9 % de HD, nem ao processo que utilizam para realizar o enriquecimento final.

Como o hidrogénio electrolítico é mais puro que qualquer outro que se fabrica por via química, o processo de destilação desse hidrogénio é mais simples e mais económico. Destilando, por exemplo, o hidrogénio produzido numa instalação de electrólise da água com a potência de 140.000 kW, seria possível, segundo Benedict, fabricar 29 toneladas/ano de água pesada ao preço de cerca de 53 dólares/kg, com um rendimento de extracção da ordem de 95 %.

* * *

O processo de destilação do hidrogénio líquido pode ser associado a outros processos, por vezes com vantagens apreciáveis.

Das várias sugestões que têm sido propostas destaca-se a apresentada pelos suíços no Congresso de Roma de 1955 de associá-lo à electrólise da água. As electrólises já existentes na indústria de amoníaco seriam modificadas de maneira a produzir pre-concentrados de deutério e a destilação faria a concentração final desse gás. A unidade de destilação seria assim mais reduzida e o preço de custo da água pesada mais baixo, com o único inconveniente de se diminuir o rendimento de extracção devido às perdas de deutério na cascata da electrólise. No exemplo da instalação de electrólise de 140.000 kW de potência, apresentado por Benedict, seria possível desta forma reduzir o preço de custo para 44 dólares/kg de água pesada e o rendimento de extracção seria agora da ordem de 48 %.

Em instalações mais pequenas o preço de custo é, porém, mais elevado, por se ter que trabalhar abaixo da capacidade mínima econó-

mica. Benedict admite que só é possível conseguir preços de custo competitivos com o actual preço de venda, em instalações de electrólise com potência superior a 50.000 kW.

Este processo de destilação pode ser também associado com o de permuta entre hidrogénio e água, com a vantagem de se tornar independente duma fábrica de amoníaco. O hidrogénio empobrecido em deutério que sai da coluna de destilação é misturado com vapor de água, a mistura passa depois por uma torre de permuta à temperatura de 600° C, onde o hidrogénio se enriquece com parte do deutério contido no vapor, a água é separada e o hidrogénio enriquecido volta novamente para a coluna. O hidrogénio anda deste modo em circuito fechado e é a água que serve de matéria-prima.

O hidrogénio permanece mais ou menos puro no circuito, não levantando problemas a sua purificação. A constante de equilíbrio da reacção de permuta é todavia pouco favorável, razão porque o hidrogénio que alimenta a coluna de destilação é menos rico em deutério do que o hidrogénio natural. A capacidade de produção é portanto menor do que se a coluna fosse alimentada com hidrogénio natural e, consequentemente, o preço de custo da água pesada é assim mais elevado. Há ainda que contar com o consumo de vapor resultando finalmente que o preço de custo, que era de 53 dólares/kg no caso da destilação de hidrogénio obtido na electrólise da água natural, passa a ser agora da ordem de 75 dólares/kg.

Denton propôs ainda outro esquema de associação destes 2 processos, onde a permuta entre o hidrogénio e a água se realiza a 2 temperaturas. Adiante se falará dele mais em pormenor.

II — Processos independentes da produção de hidrogénio

I — Destilação da água

O processo baseia-se na diferença entre as tensões de vapor da água leve e da água pesada. Neste caso a diferença é, porém, muito menos acentuada do que no caso do hidrogénio.

O factor de separação, que aqui se pode exprimir pela raiz quadrada da razão daquelas tensões de vapor, é apenas de 1,026 nas condições normais de ebulição. Ele vai aumentando, no entanto, à medida que a pressão diminui e à pressão de 4,58 mm Hg, para a qual a temperatura de ebulição é igual a 0° C, tem o valor de 1,12.

Seria vantajoso, portanto, que as colunas de destilação trabalhassem a pressão reduzida, mas o aumento de custo duma tal instalação limita forçosamente a pressão de trabalho. Nas primeiras [instalações americanas, por exemplo, a pressão na cabeça das colunas era de 50 a 126 mm Hg, a que correspondem factores de separação compreendidos entre 1,06 e 1,05.

Ora para factores de separação desta ordem de grandeza verifica-se que o número mínimo de pratos teóricos necessários para realizar o enriquecimento da água pesada desde a sua concentração na água natural até 99,8 % é apròximadamente igual a 308 e o número óptimo anda à volta de 700. Estes valores dão já uma ideia da grande dificuldade da separação e da enorme quantidade de vapor que é preciso dispender. A quantidade de vapor é da ordem de 160.000 kg/kg de água pesada e a de calor anda à volta de 100.000 kWh/kg.

Em face de tão grandes quantidades de vapor e de energia, o processo fica imediatamente limitado aos casos em que se disponha de vapor e energia baratos. Mesmo assim, se bem que o custo correspondente aos consumos de vapor e energia possa ser aceitável, o tamanho da instalação requerida para comportar aquela quantidade enorme de vapor implica um investimento de capital muito elevado, o que torna o processo proibitivo.

Para ele poder ter alguma viabilidade do ponto de vista industrial, será necessário não só conceber esquemas que permitam uma máxima economia de vapor, mas também desenvolver novos tipos de colunas mais eficientes de modo a diminuir substancialmente o valor do investimento.

O processo de destilação da água foi aplicado à escala industrial em 1943, nos U.S.A. (Manhattan) mas, porque o preço de custo da água produzida era muito superior ao da fabricada em Trail, as instalações foram fechadas em 1945. Elas desempenharam todavia um papel muito importante dentro do programa americano de energia nuclear, visto terem permitido a produção de 20 toneladas de água pesada numa altura em que não havia outros processos adequados para isso.

Os ingleses pensaram aplicá-lo na Nova Zelân-

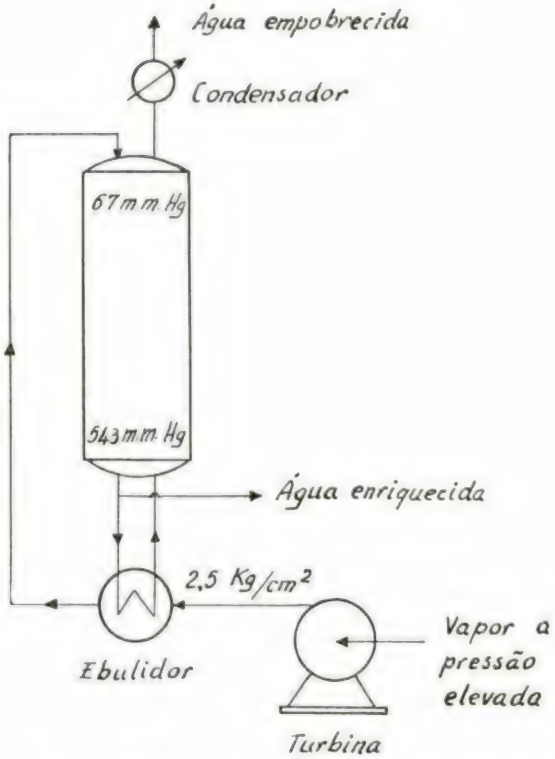


Fig. 4 — Coluna de destilação da água, alimentada e aquecida com vapor geotermal

dia, onde existem fontes geotermais com vapor barato. O esquema proposto (Fig. 4) consistia em aproveitar primeiro o vapor para produzir energia eléctrica numa turbina, em introduzi-lo depois num ebulidor para realizar o aquecimento da coluna e por fim em utilizar a água (resultante da condensação desse vapor) para alimentar a coluna. O consumo de energia era da ordem de grandeza de 100.000 kWh/kg de água pesada.

Apesar de ser este o modo mais económico de aproveitamento do vapor geotermal, tornando possível a obtenção de custos de laboração inferiores a 62 dólares/kg, o preço de custo da água pesada fabricada resultava superior. O projecto foi por isso abandonado.

* * *

Este processo, se não é susceptível de produzir econòmicamente água pesada a partir da água natural, pode contudo aplicar-se numa fase de concentração de água já prèviamente enriquecida. Neste caso apresenta até certas vantagens, como ser de fácil regulação e manutenção.

Com o fim de se reduzir o consumo de energia do processo, foi proposto outro esquema que consiste fundamentalmente em obter o vapor a uma pressão suficientemente elevada para aquecer a coluna de destilação (Fig. 5). O vapor que sai da coluna é comprimido até 2,5 kg/cm², passa depois pelo ebulidor da coluna onde é condensado e a água obtida circula finalmente por um permutador de calor, onde fornece calor à água de alimentação da coluna. O consumo de energia

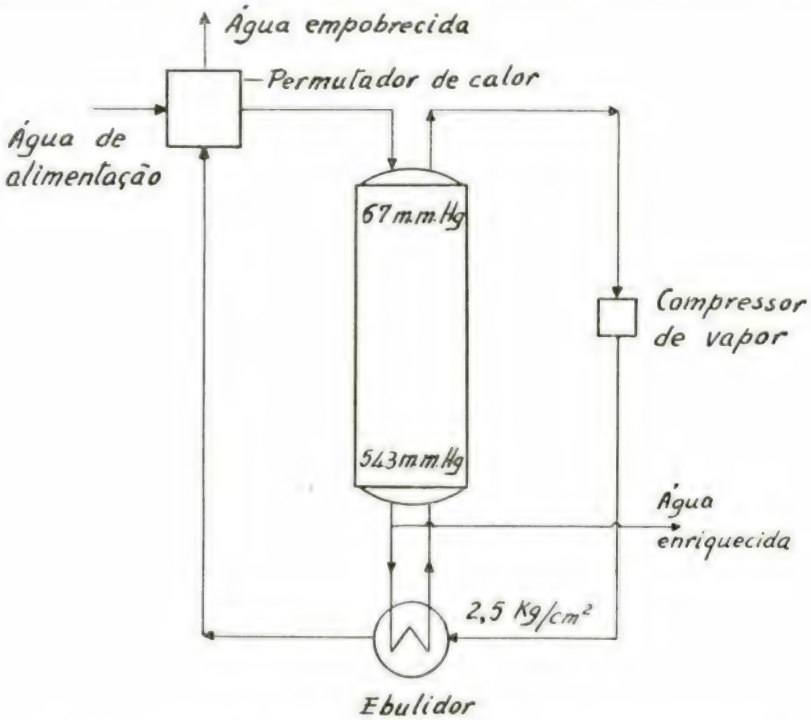


Fig. 5 – Coluna de destilação da água, aquecida com vapor comprimido

é aqui da ordem de 23.000 kWh/kg de água pesada.

Este esquema não é, porém, tão económico como o referido anteriormente, tendo apenas interesse para efectuar o enriquecimento final da água.

Os suíços pensam fazer a concentração final da água pesada mediante destilação da água em colunas do tipo Kuhn, fabricadas pela firma Sulzer Brothers, mesmo no caso de empregarem a destilação do hidrogénio líquido para realizar o pre-enriquecimento. Na zona de concentrações superior a 1 % o processo de destilação da água utilizando a coluna Kuhn é talvez o mais económico de todos, em particular mais do que o da electrólise da água que era o método vulgarmente usado para esse fim.

O processo é actualmente usado nos U. S. A. para efectuar o enrequecimento da água pesada da fábrica de Savannah River, desde 15 % a 90 %.

2 — Permuta isotópica entre ácido sulfídrico e água, a duas temperaturas

Este processo baseia-se na reacção

$$OH_2 + SHD \rightleftarrows OHD + SH_2,$$

cuja constante de equilíbrio, $K = \frac{[OHD]\,[SH_2]}{[SHD]\,[OH_2]}$ varia com a temperatura do seguinte modo:

Temperatura °C	5	10	25	100
K	2,52	2,48	2,34	1,92

O mecanismo do processo é em princípio semelhante ao já descrito na alínea 2 do capítulo anterior, para o sistema hidrogénio-água. Misturando por exemplo ácido sulfídrico e água, ambos ordinários, verifica-se do mesmo modo que uma parte do deutério do ácido se desloca para a água, enriquecendo-a.

Neste processo há, porém, uma variante muito importante que não existe no anterior e que consiste na utilização de 2 colunas em série, uma onde a permuta se realiza à temperatura de cerca de 25° C e outra onde ela se efectua à temperatura de aproximadamente 100° C. A pressão de trabalho é da ordem de 13 atmosferas.

A água entra primeiro na coluna fria, em sentido contrário ao do gás sulfídrico, onde é enriquecida mediante passagem de deutério do gás para a água. Parte desta água é retirada e a outra parte segue depois para a coluna quente.

Na coluna quente a água é então circulada em contra corrente com o ácido sulfídrico empobrecido proveniente da coluna fria. Como a constante de equilíbrio da reacção de permuta é mais baixa para esta temperatura, é agora a água que restitui ao gás o deutério que ele havia perdido anteriormente, ficando com um teor de deutério interior ao inicial.

Para aproveitar o calor que segue nos produtos que saiem da coluna quente, usam-se permutadores de calor entre as duas colunas.

Um esquema tornará mais claro o princípio de funcionamento do processo.

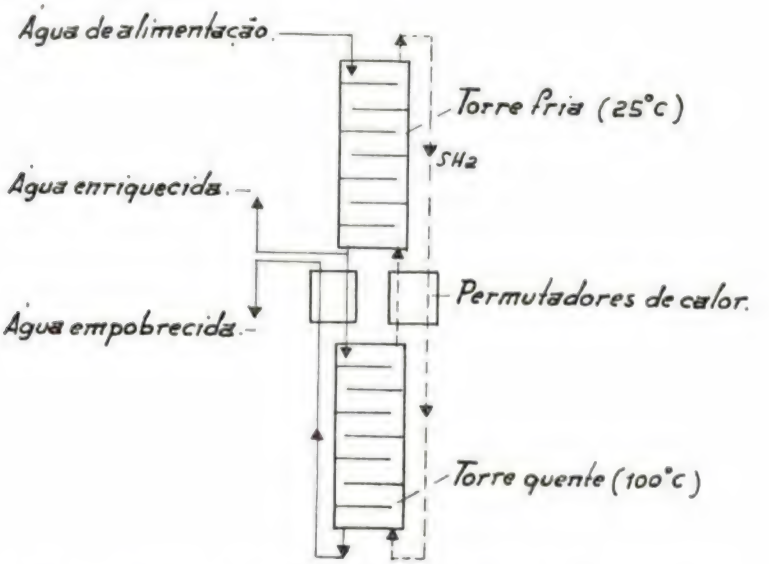


Fig. 6 — Permuta entre ácido sulfídrico e água, a duas temperaturas

O enriquecimento progressivo da água pesada realiza-se na prática associando várias destas unidades em série, cujas dimensões vão diminuindo com o grau de enriquecimento.

Uma das grandes vantagens deste processo de permuta é não necessitar de catalisador. É possível, por isso, empregar colunas de absorção do tipo clássico, colunas de pratos, por exemplo. Possui ainda a vantagem de ter um consumo específico de energia baixo, da ordem de grandeza de 9.600 kWh/kg de água pesada. O rendimento de extracção pode atingir o valor de 22 %.

Ele apresenta, todavia, dificuldades de ordem técnológica muito grandes, devido à acção corrosiva do ácido sulfídrico.

O processo foi proposto em 1943 por Geib, na Alemanha, mas é nos U. S. A. que se veio a fazer a sua aplicação à escala industrial.

Não foram ainda publicados quaisquer pormenores relativos às fábricas americanas; das poucas coisas que se conhece é que foram elas que fizeram baixar o preço da água pesada para 62 dólares/kg. (1) Sabe-se ainda que actualmente só a fábrica de Savannah River está a funcionar e que a sua máxima capacidade de produção é de cerca de 450 toneladas/ano de água pesada.

O processo é aí utilizado para efectuar o pre-enriquecimento da água desde a sua concentração natural até cerca de 15 %. No enriquecimento posterior empregam, como já foi mencionado, os processos de destilação e de electrólise da água.

O processo está também a ser investigado nalguns países europeus, em França pela Société pour l'Obtention du Deutérium (S. O. D.), na Inglaterra pelo Grupo de Engenharia Química de Harwell e na Alemanha pela Pintsch-Bamag. Esta última firma já anunciou que vai iniciar brevemente a montagem duma instalação à escala industrial.

3 — Permuta isotópica entre hidrogénio e água, a duas temperaturas

De todas as reacções de permuta de deutério entre compostos hidrogenados, um líquido e outro gasoso, a reacção entre o hidrogénio e a água é teòricamente a mais favorável para fazer o enriquecimento da água pesada pelo processo a duas temperaturas, em virtude de ser aquela cuja constante de equilíbrio varia mais acentuadamente com a temperatura. Tem ainda a vantagem de não levantar problemas de corrosão.

A reacção necessita infelizmente de ser catalisada e, além disso, tem que realizar-se em fase vapor pois, como já foi referido, os catalisadores conhecidos são envenenados pela água em fase líquida.

Harteck e Suess propuseram, baseados nesta reacção, um esquema para fazer esse enriquecimento, cujo princípio é o da figura 7.

Nesse esquema, que se explica por um raciocínio idêntico ao exposto na alínea anterior, é necessário efectuar um grande número de eva-

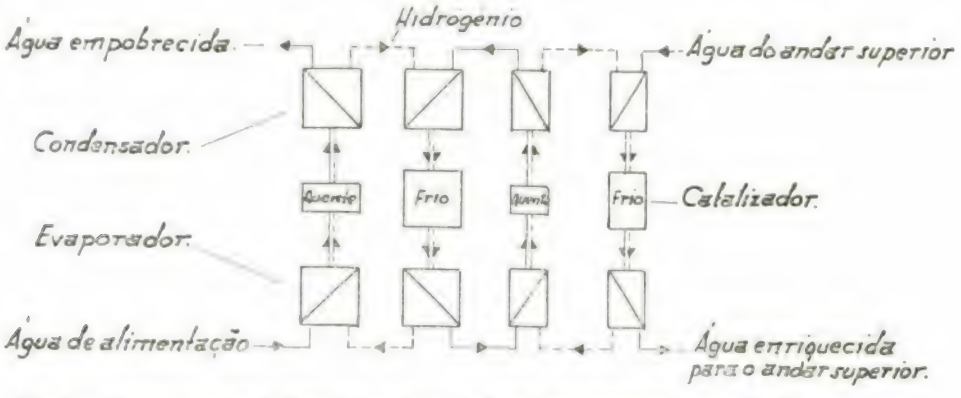


Fig. 7 — Permuta entre hidrogénio e água, a duas temperaturas, segundo Harteck et col.

(1) O preço de 62 dólares kg parece ter sido fixado em condições especiais, que são as normalmente adoptadas pelo governo dos U. S. A. em grande número de empreendimentos. Não implica perdas mas também não inclui lucros e, além disso, julga-se que foi obtido com base num longo período de amortisação, da ordem de 20-25 anos. Assim, nas condições geralmente adoptadas pelas empresas particulares, o preço da água pesada fabricada por este processo será concerteza mais elevado.

porações e, mesmo utilizando torres de permuta do tipo Trail, o consumo específico de energia é muito elevado. Não despertou por isso interesse.

Cerrai e os seus colaboradores propuseram outro esquema (Fig. 8), com o qual se evitam as repetidas evaporações indispensáveis no caso precedente.

A concentração da água realiza-se neste caso numa torre de permuta absolutamente análoga à do processo simples de permuta descrito na alínea 2 do capítulo anterior. Parte da água aí enriquecida é retirada e a outra parte segue então para uma coluna de lavagem, onde não há catalisador.

res de separação. Na verdade, a permuta em cada andar da cascata realiza-se num só andar de catálise a alta temperatura, a que corresponde na melhor das hipóteses o factor de separação 1,42.

A instalação terá portanto que ser grande e, porque se trata de colunas de catálise complicadas, deverá ser necessàriamente cara. Este esquema não chegou, por isso, a ser utilizado na prática.

É certo que pode diminuir-se o tamanho da instalação substituindo as câmaras de catálise a alta temperatura (com um só andar de contacto) por torres do tipo Trail (com vários andares). Nestas condições é porém muito difícil controlar

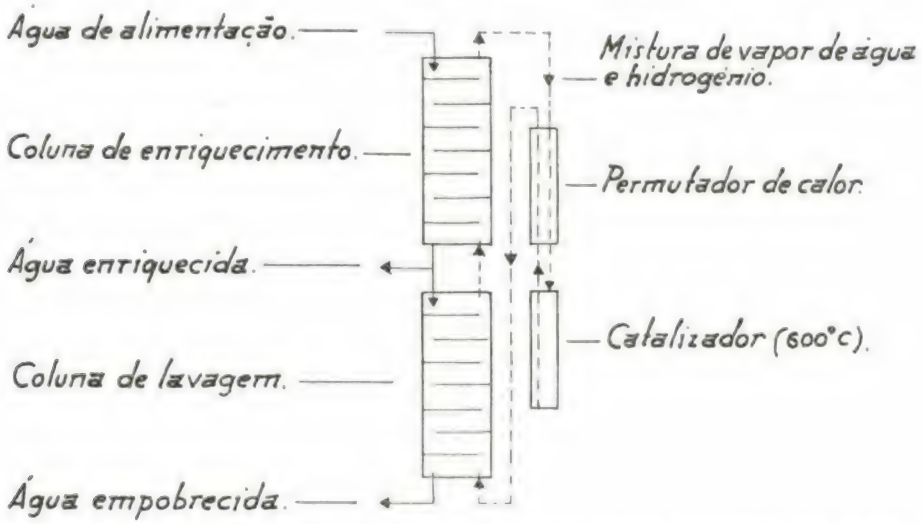


Fig. 8 — Permuta entre hidrogénio e água, a duas temperaturas, segundo Cerrai et col.

O vapor que sai com o hidrogénio da coluna de enriquecimento não é condensado, como no outro caso. A mistura é enviada para uma câmara de permuta à temperatura de 600° C, onde o deutério é transferido do vapor para o hidrogénio que retoma assim o seu teor primitivo. Vai depois passar na coluna de lavagem que, por não ter catalisador, não afecta o hidrogénio, mas que permite a substituição de grande parte do vapor empobrecido (proveniente da câmara) por outro enriquecido (da água que passa em contra corrente). Como resultado obtem-se na coluna de lavagem uma água empobrecida com teor em deutério inferior ao inicial.

Embora o consumo específico de energia seja neste caso bastante reduzido, o esquema proposto por Cerrai apresenta contudo a desvantagem de necessitar dum grande número de anda-

convenientemente a relação das quantidades de hidrogénio e vapor nas duas torres, o que conduz à redução da capacidade de transferência do deutério em cada andar de catálise.

Este processo só será de facto econòmicamente viável quando se encontrar um catalisador que possa funcionar em fase líquida. Não haverá então necessidade de utilizar torres do tipo Trail, as quais poderão ser substituídas por torres vulgares, de pratos ou de enchimento. O processo assemelhar-se-á assim ao de permuta entre gás sulfídrico e água, com a vantagem sobretudo de não levantar problemas de corrosão tão complicados.

O assunto tem sido objecto de numerosas investigações em diferentes países, mas não foi ainda solucionado. Na Alemanha, porém, em face de resultados já obtidos à escala piloto, estão

confiantes em que o problema acabará por ser resolvido.

O processo alemão foi proposto por Becker e consiste no seguinte :

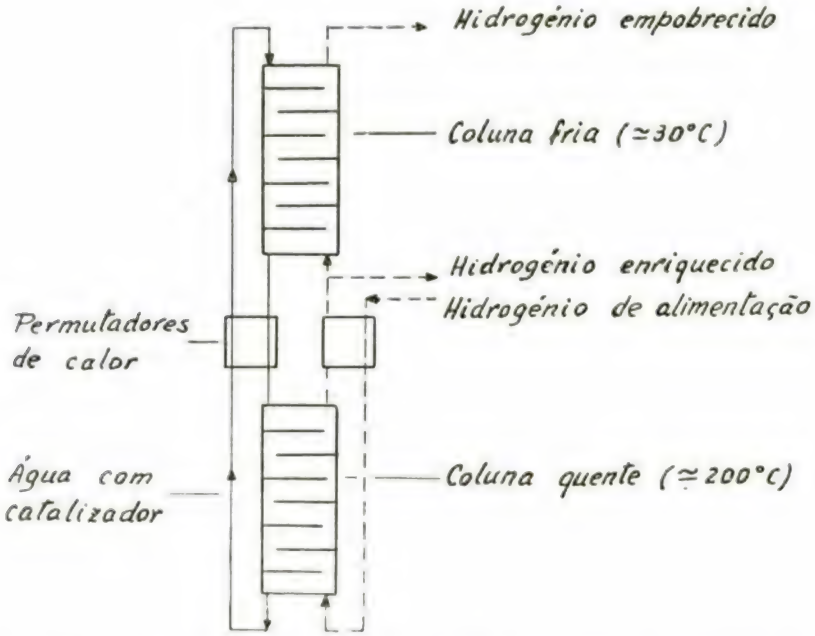


Fig. 9 — Permuta entre hidrogénio e água, a duas temperaturas, segundo Becker

O hidrogénio é introduzido nas colunas a cerca de 200 kg/cm² e circulado em contra corrente com água que contém um catalisador muito disperso, constituído essencialmente por platina. As colunas são de pratos, uma das quais é mantida à temperatura de 30° C e a outra a 200° C.

Na coluna quente o hidrogénio é enriquecido em deutério à custa da água que circula em sentido contrário. Parte deste hidrogénio é retirado e a restante parte é enviada para a outra coluna.

Na coluna fria a reacção de permuta dá-se em sentido inverso. A água retoma então o seu teor de deutério primitivo, em prejuízo do hidrogénio cujo teor diminui passando a ser inferior ao inicial.

Como no caso do sulfídrico, usam-se permutadores de calor intercalados no circuito, para efectuar a recuperação do calor transportado nos produtos que saem da coluna quente.

As características do processo Becker são portanto idênticas às já mencionadas para o sistema gás sulfídrico-água, com algumas vantagens. Os problemas de corrosão são mais simples de resolver, tem um factor de separação mais elevado e pode funcionar a pressões mais altas. Os caudais serão portanto mais pequenos, as perdas de calor mais baixas e, consequentemente, o consumo de calor será mais reduzido. Segundo Becker, ele é da ordem de grandeza de 2,1 toneladas/kg de água pesada, cerca de 4 vezes inferior ao do processo de permuta sulfídrico-água. O consumo de energia eléctrica é da ordem de 200 kWh/kg de água pesada, também cerca de 4 vezes mais baixo do que no caso do sulfídrico. O custo da instalação deve ser mais reduzido.

Tem como principal desvantagem a necessidade de catalisador. O investimento de platina é, ainda segundo Becker, o equivalente a cerca de 16 kg/tonelada de água pesada por ano.

No esquema anterior supõe-se que o hidrogénio é a matéria prima. No entanto, também a água pode funcionar como matéria-prima, apenas o custo de laboração e o investimento serão neste caso mais elevados. Ter-se-á para isso que intercalar no circuito uma coluna de regeneração a temperatura elevada, tal como se mostra na figura 10.

O processo não passou contudo da escala piloto. Brevemente será construída em Frankfurt uma instalação industrial com a capacidade de 10 toneladas/ano de água pesada, que será associada a uma fábrica de amoníaco com a produção de 160 toneladas/dia. O projecto, que é das

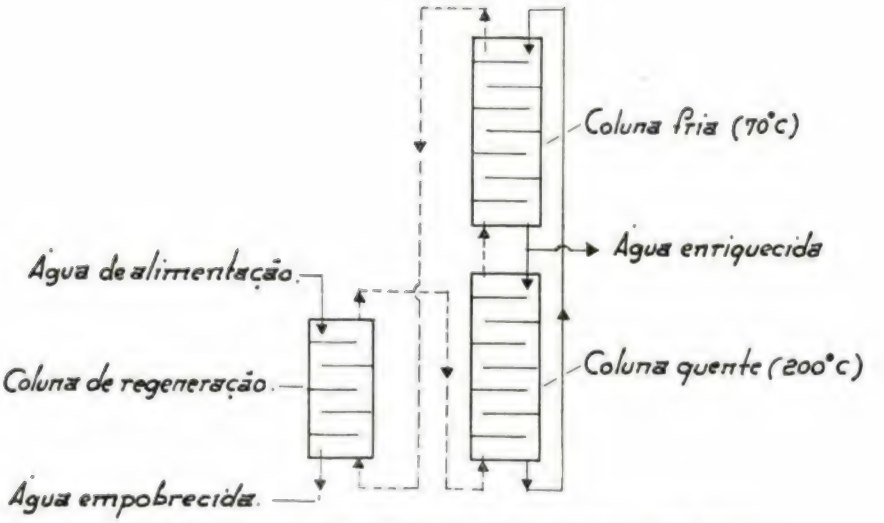


Fig. 10 — Processo Becker, utilizando a água como matéria-prima

firmas Uhde e Degussa, faz uso dum esquema análogo ao que se apresenta na figura 11.

O hidrogénio passa primeiro por uma unidade de «scrubbing» e circula depois numa série de 3 colunas de permuta, onde transfere parte do seu deutério para a água que anda em sentido contrário e que contém a suspensão de catalisador. Segue finalmente para a síntese de amoníaco.

Da água pre-enriquecida, uma parte segue para a fábrica de concentração da água pesada, constituída por 4 andares de torres quente-fria, e a outra parte é separada do catalisador e volta para a instalação geradora de hidrogénio.

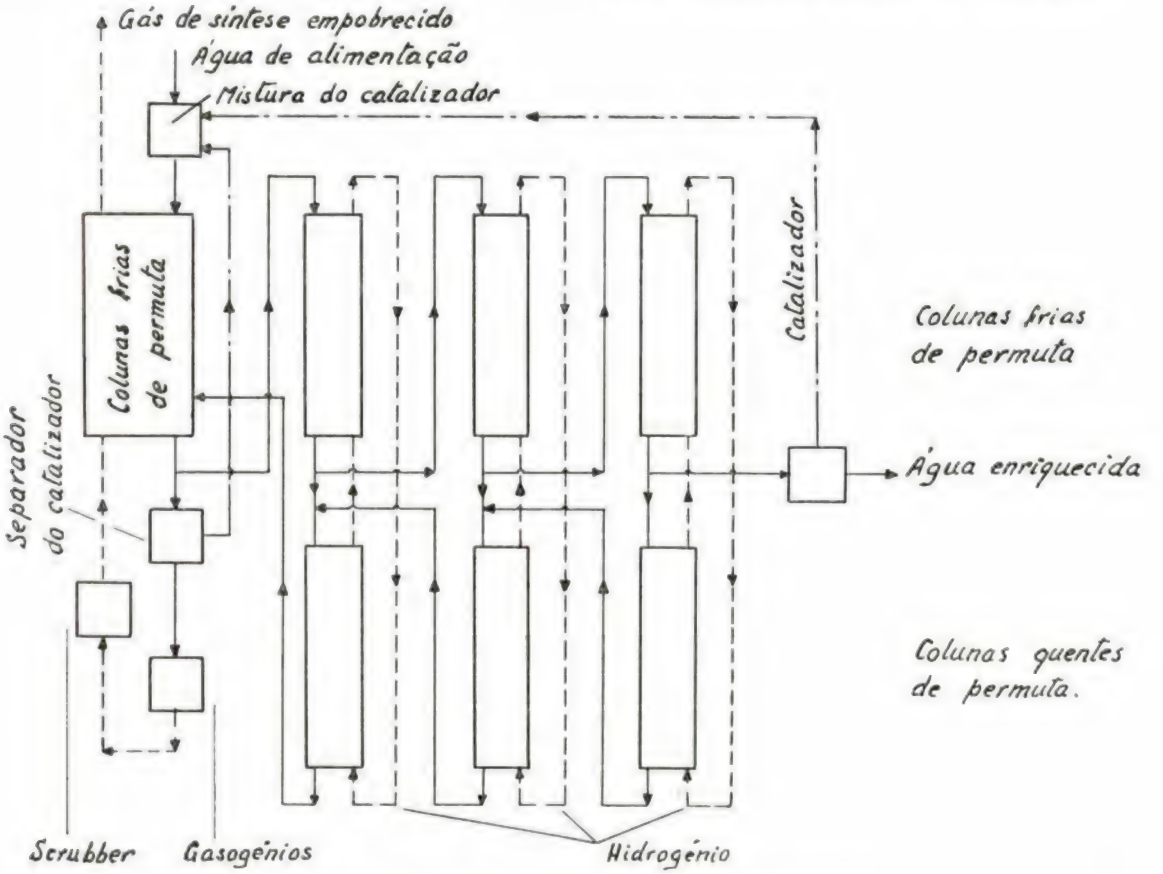


Fig. 11 — Processo Becker, conforme patente da U. H D. E.

A água é enriquecida no sistema de torres até à concentração de 10-20 % de água pesada. A concentração posterior é realizada utilizando outro processo.

* * *

Fez-se já referência, na alínea 3 do capítulo I, à associação da permuta entre hidrogénio e água com a destilação do hidrogénio, cuja vantagem é tornar este último processo independente da produção de hidrogénio. Verifica-se neste caso que o preço de custo da água pesada é, porém, mais elevado do que se se utilizar ùnicamente a destilação.

Denton propôs uma modificação deste esquema que consiste fundamentalmente em efectuar a permuta numa cascata de torres quente-fria, de modo a elevar a concentração do hidrogénio de alimentação da coluna de destilação para cerca de 2 vezes a concentração natural. Verifica-se que o consumo de energia é assim mais baixo do que no caso da destilação de hidrogénio, alimentada com gás de síntese.

4 — Permuta isotópica entre amoníaco e hidrogénio, a duas temperaturas

Este processo baseia-se na reacção $NH_3 + HD \rightleftarrows NH_2D + H_2$.

Os valores do factor de separação são neste caso muito vizinhos dos que se observam na permuta entre hidrogénio e água mas, por ser possível realizar a contra corrente gás-líquido a temperaturas mais baixas do que no caso anterior, eles são na prática mais elevados. À temperatura de solidificação do amoníaco (—78° C), por exemplo, o factor de separação é da ordem de 9.

A reacção necessita também de ser catalisada. O único catalisador que se conhece é o amideto de potássio, que tem a vantagem de ser solúvel na amónia, permitindo assim a utilização de torres normais de permuta.

Segundo Benedict este processo não deve poder competir com o de permuta entre ácido sulfídrico e água, pois consome mais calor e requere um maior número de torres. Tem a vantagem de não levantar problemas de corrosão, não exigindo portanto materiais de construção tão dispendiosos, mas em contrapartida trabalha-se a pressões mais elevadas o que implica o emprego de paredes mais espessas.

O processo continua todavia a ser investigado com grande interesse, em particular na França e na Inglaterra.

* * *

A sua associação com certos processos pode trazer vantagens apreciáveis.

Na Inglaterra está a construir-se uma instala-

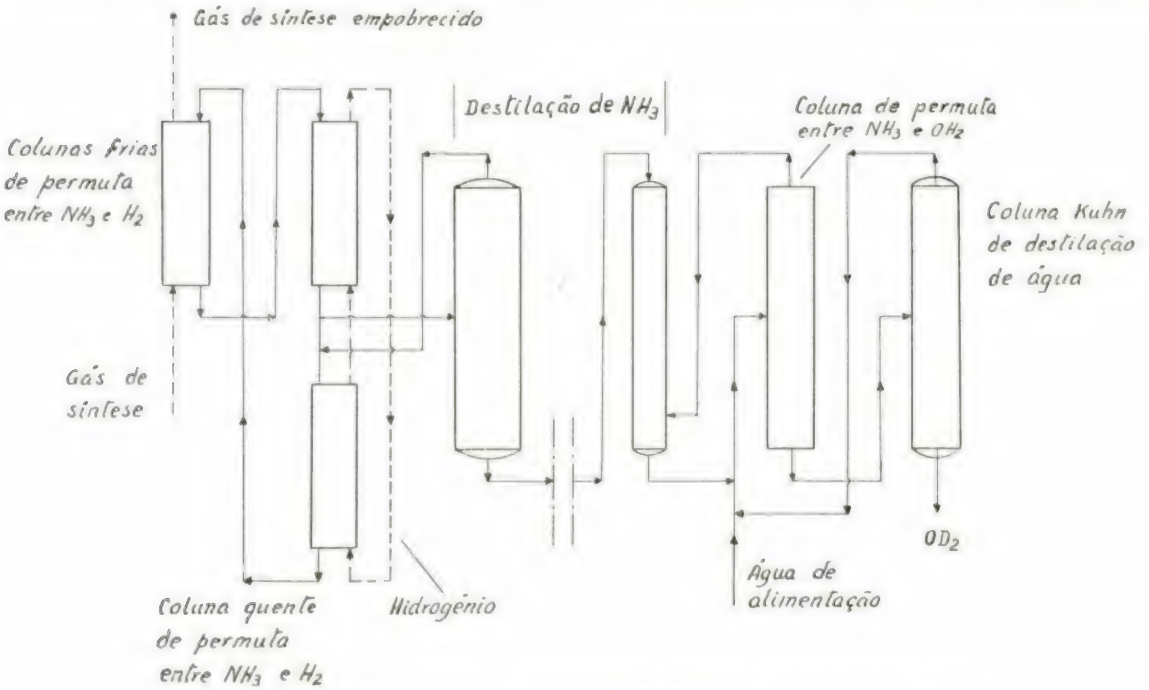


Fig. 12 — Permuta entre amoníaco e hidrogénio, segundo o projecto da C. J. B.

ção piloto, onde ele será aplicado em associação com os processos de destilação de amónia e destilação da água. A matéria-prima será gás de síntese duma fábrica de amoníaco, o caudal de gás é de 20 toneladas/hora e a capacidade de produção de 28 toneladas/ano de água pesada. Prevê-se um rendimento de extracção de 70 %.

O projecto pertence à firma Constructors John Brown Ltd. e o esquema é aproximadamente o da figura 12.

O gás de síntese é introduzido à pressão de 255 atmosferas na coluna fria, onde se dá a transferência de parte do seu deutério para a amónia que circula em sentido contrário e que contém o catalisador. Segue depois para a síntese de amoníaco.

A amónia enriquecida segue para a unidade de colunas quente-fria e daí passa para uma cascata de colunas de destilação, sofrendo novos enriquecimentos. A fracção pesada da última coluna de destilação é depois misturada com água e a mistura é introduzida numa coluna de permuta, cuja finalidade é promover a transferência de deutério da amónia para a água. O concentrado de água pesada segue então para uma coluna Kuhn de destilação onde é enriquecido a 99,8 %.

Já foram publicados vários detalhes técnicos da instalação e alguns números relativos ao preço de custo. Se bem que este dependa dos preços da energia e do vapor e do período de amortisação, a firma C. J. B. admite que, dentro das condições médias europeias, seja possível conseguir um preço de custo da ordem de 48 dólares/kg de água pesada, consideràvelmente inferior portanto ao actual preço de venda.

III — Conclusões

De todos os processos referidos, a electrólise da água (associada ou não com a permuta entre hidrogénio e água), a destilação da água e a permuta entre ácido sulfídrico e água, a duas temperaturas, foram os únicos utilizados à escala industrial, os dois últimos dos quais apenas nos U.S.A..

Os outros encontram-se ainda em estudo e experimentação, estando a destilação do hidrogénio líquido numa fase mais adiantada do que a dos restantes.

Não se possuem dados suficientes e precisos que permitam uma análise perfeita da economia de todos estes processos e do seu valor relativo. Pode no entanto concluir-se em primeira aproximação que:

(I) É regra geral mais económico, no fabrico de água pesada, utilizar processos diferentes para efectuar os enriquecimentos inicial e final do que um único processo. No enriquecimento final um dos processos mais vantajosos parece ser a destilação da água.

(II) Dos processos independentes, a permuta entre ácido sulfídrico e água, a duas temperaturas, para efectuar o enriquecimento inicial, é actualmente o mais económico. Foi ele que determinou a fixação do preço americano de venda em 62 dólares/kg mas, como se fez notar, trata-se dum preço fictício que não inclui lucros e para o qual se deve ter considerado um longo período de amortisação, da ordem de 20-25 anos.

(III) O processo de permuta entre hidrogénio e água, a duas temperaturas, deverá ser mais económico do que o anterior, caso se resolvam as dificuldades respeitantes ao envenenamento do catalisador da reacção. Mas o problema ainda não foi convenientemente solucionado.

(IV) Quanto aos processos ligados à produção de hidrogénio um dos mais económicos deve ser a associação da electrólise da água com a destilação do hidrogénio. Se a capacidade da electrólise for suficientemente grande, o preço de custo poderá atingir valores da ordem de 44 dólares/kg.

(V) A destilação do hidrogénio, só por si, será também solução económica no caso de fábricas de grande capacidade, embora menos do que a anterior mas com a vantagem de se obter melhor rendimento de extracção. Neste caso o preço de custo poderá ser da ordem de 53 dólares/kg (se o hidrogénio for electrolítico) ou de 70 dólares/kg (se se tratar de gás de síntese).

(VI) Nos casos de instalações de electrólise da água de grande capacidade, a associação da permuta entre hidrogénio e água à electrólise deve permitir também a obtenção de preços de custo baixos, da ordem de 58 dólares/kg, ou inferiores se se descobrir um catalisador que não seja envenenado pela água em fase líquida.

(VII) O processo Becker e o de permuta entre amoníaco e hidrogénio, a duas temperaturas, conforme os esquemas referidos nas alíneas 3 e 4 do último capítulo, deverão ser ainda soluções económicas para fabricar água pesada. As firmas interessadas no desenvolvimento destes processos garantem ser possível obter preços de custo inferiores a 62 dólares/kg, em particular no caso da permuta entre amoníaco e hidrogénio para o qual se prevê um preço da ordem de 48 dólares/kg.

Como quase todos estes processos não foram experimentados à escala industrial e noutros há que introduzir ainda alterações e aperfeiçoamentos, é por enquanto cedo para tirar conclusões definitivas sobre aquele que mais convém para efectuar o aproveitamento das fontes de hidrogénio existentes em Portugal. De estudos já realizados concluiu-se, no entanto, que fazendo a associação da destilação do hidrogénio às electrólises existentes no País, processo que é dos mais económicos, o preço de custo da água pesada será superior ao preço de venda americano, devendo atingir um valor da ordem de 90-100 dólares/kg. Contribui para isso o facto das electrólises terem pequena capacidade.

BIBLIOGRAFIA

P. J. Selak e J. Fincke, «Chem. Eng. Prog.» *50*, 221 (1954).

M. Benedict, «Proc. Internat. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy», 1955, *8*, 377.

M. Benedict, «Lecture delivered at Reykjavik on Sept., 6 th (1956)».

E. W. Becker, «Angew. Chem.», *68*, 6 (1956).

W. H. Denton, «Proc. Internat. Symp. on Isotope Separation», 1957, 583.

E. W. Becker et col., «Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy», 1958, A/CONF. 15/P/1000.

W. P. Bebbington e V. R. Thayer, idem, A/CONF. 15/P/1065.

E. Roth et col., idem, A/CONF. 15/P/1261.

D. C. Gami et col., idem, A/CONF., 15/P/1649.

M. P. Malkov et col., idem, A/CONF. 15/P/2323.

TEODOLITOS

CONSTRUÇÃO DR. H WILD

DK 2
DKM 2
DKM 2-U
DKM 2-T

SÃO DE LONGE O QUE DE MELHOR SE FABRICA EM TODO O MUNDO!

Precisão inexcedível
Manejo facílimo
Construção robusta
A óptica mais luminosa

Aumento da luneta 30×, abertura da objectiva	45 mm
Focagem mínima a	1,4 m
Focagem máxima para leitura dos mm na mira	230 m
Idem para leitura dos cm	500 m
Constante de multiplicação 100, e de adição	0
Peso do equipamento com tripé extensível, sómente . . .	10,9 Kg

KERN & CIE. S. A. AARAU — Suíça

REPRESENTANTES
EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & CA. LDA.
RUA DE SANTO ANTÓNIO, 137-145 — PORTO — TEL. 20254/5
RUA ANTERO DE QUENTAL, 17-1.º — LISBOA — TEL. 53366

NOTA — Os teodolitos «KERN» não são aparelhos repetidores, mas sim teodolitos de círculo-duplo, oferecendo portanto maior precisão e um trabalho muito mais simples e mais rápido.

UNILENE

Características:

Leveza; grande resistência ao choque, esmagamento e abrasão; boa flexibilidade; grande estabilidade dimensional; perdas de carga mínimas; imunidade à incrustação, insensibilidade às baixas temperaturas; resistência aos ácidos minerais, alcalis e soluções salinas, inatacabilidade por fungos ou roedores. Não tóxico.

Restrições:

A temperatura máxima de serviço contínuo é de 50° C.

Aplicações:

Construção Civil, Indústria Química, Condutas desmontáveis ou fixas para cerveja, agricultura, vinicultura, sulfato para as vinhas, estábulos, nitreiras, centrais leiteiras, sumos de frutos, águas ácidas, água salgada ou calcárea, condutas de água e ar nas minas, pedreiras, etc.

UNILENE

SOCIEDADE FABRIL DE MATÉRIAS PLÁSTICAS

PORTO
RUA DO HEROÍSMO, 291
Tele { gramas UNISOTRA
fone (prov.) 5 2102

LISBOA
RUA DA EMENDA, 19
Tele { gramas UNISOTRA
fone 2 0448 - 36 7488 - 36 7489

C. D. U. 621.311.003.1 (469)

« Quelques aspects économiques en rapport avec la coordination de l'exploitation et la planification des ressources d'énergie électrique au Portugal » (*)

par INGS. F. IVO GONÇALVES, SIDÓNIO PAIS et J. CRUZ MORAIS

Services du «Repartidor Nacional de Cargas»
(Répartiteur National des Charges), Lisboa

1. Généralités. Principes d'Orientation dans la Coordination de l'Exploitation et dans la Planification de l'Énergie Électrique

1.1 — *Aspects généraux les plus caractéristiques du réseau portugais*

Par rapport aux aspects économiques des problèmes de l'énergie électrique, le réseau portugais constitue un exemple intéressant et caractéristique en ce qui concerne, parmi d'autres, les deux points principaux suivants :

a) La production est essentiellement hydraulique, d'après les intérêts nationaux, mais elle résulte d'apports très irreguliers car ils ne dépendent que d'un régime de pluie très variable. Par conséquent on est obligé, d'un côté, de se préoccuper fortement, dans l'exploitation, d'obtenir la meilleure utilisation, au point de vue économique, des disponibilités hydrauliques, mais sans risquer la sécurité des fournitures à la consommation. D'un autre côté, il faut tenir compte, dans la planification, des conséquences de cette irregularité, étant donné la préponderance hydraulique, ce qui peut justifier quelques solutions différentes des plus normales dans la généralité des pays.

b) Il faut étudier soigneusement le réglage financier das problèmes économiques entre les entreprises concessionnaires, étant donné qu'il existe une coordination permanente du réseau, laquelle est faite au plan national sous l'action d'un «répartiteur des charges», mais en régime d'entreprises privées. On est parvenu à résoudre les difficultés du problème d'après l'établissement d'intéressants régimes de « pool » d'énergie.

1.2 — *Caractéristiques de la production d'énergie électrique au Portugal*

On ne developpera pas beaucoup ce point car il a déjà été présenté en détail dans un rapport pour la 5ème Conférence Mondiale de l'Énergie (1), mais il convient d'en rappeler l'essentiel pour rendre plus facile la suite des raisonnements :

a) Le Portugal, n'étant pas très riche en énergie hydraulique, possède toutefois des ressources relativement importantes qu'on peut estimer, d'après quelques récentes computations, de 12 à 14×10^9 kWh en année moyenne. En 1956, la production hydraulique du pays a été d'environ 2×10^9 kWh.

b) Il y a encore à réaliser quelques aménagements très économiques, notamment au fil de l'eau, lesquels — en exploitation coordonnée avec les grands lacs existants et en construction ou projet — permettront d'aboutir à des prix de revient de l'énergie permanente rélativement intéressants.

(1) «L'utilisation des ressources nationales dans la production d'énergie électrique — Situation actuelle. Perspectives de développement. Rendement maximum par coordination», Ing. F. Ivo Gonçalves, Vienne 1956.

(*) Comunicação apresentada à reunião de Setembro de 1958, em Montreal, da Conferência Mundial da Energia por convite da respectiva Comissão Nacional Portuguesa.

Quelques valeurs d'investissement se rapportant à des aménagements récents ou en construction :

— Système du Zêzere (2 grands lacs, 1 petit lac et 3 centrales) :

— Caractéristiques : Puissance installée — — 350×10^3 kVA ; capacité utile d'accumulation — 1.515×10^6 m^3 <> $502 \times \times 10^6$ kWh ; productibilité en année moyenne $\approx 750 \times 10^6$ kWh ;

— Investissement total — 1.320×10^6 escudos (2).

Système du Cávado (2 grands lacs, 2 petits lacs et 3 centrales) :

— Caractéristiques : Puissance installée — — 264×10^3 kVA ; capacité utile d'accumulation — 455×10^6 m^3 <> $411 \times \times 10^6$ kWh ; productibilité en année moyenne $\approx 900 \times 10^6$ kWh.

— Investissement total : 1.560×10^6 escudos (2).

Aménagement de Picote en conclusion de construction (1er échelon du tronçon international du grand fleuve Douro) : au fil de l'eau, avec une régularisation hebdomadaire :

— Caractéristiques : Puissance installée — — 200×10^3 kVA ; productibilité en année moyenne $\approx 1.000 \times 10^6$ kWh

— Investissement total : $700 \times 10_6$ escudos (2).

(c) Le Portugal ne possède presque pas de ressources de combustibles solides ou liquides dans le térritoire européen et, par conséquent, il est convenable que les centrales thermiques ne jouent qu'un rôle de réserve et d'appoint, c'est à dire, de fonctionnement en cas de sécheresse ou d'avaries, tel qu'il est d'ailleurs prescrit dans le statut fondamental de la politique d'énergie électrique du pays («loi de l'électrification nationale» (3)).

Les charbons, d'ailleurs en faibles quantités, sont pauvres et il convient de les utiliser dans l'industrie. On est toutefois en train de construire une nouvelle usine thermique d'appoint, auprès des mines, dans laquelle les charbons résiduels de l'extraction seront brûlés.

Les centrales thermiques actuelles—qui sont antérieures à la nouvelle phase de mise en service, depuis 1951, des grands aménagements hydroélectriques — brûlent, en général, des combustibles étrangers.

Il faut dire toutefois que dans les provinces d'Outremer (notamment en Angola) on est en train de prospecter des gisements de pétrole, ce qui peut influencer, dans l'avenir, la résolution du problème énergétique portugais.

d) D'après les principes d'utilisation des ressources nationales, la production, dans les années hydrologiquement normales, est, pour le moment, presque exclusivement hydraulique. Les centrales thermiques ne fonctionnent que dans les années sèches et dans des périodes très sèches des années normales. On présente ensuite quelques valeurs caractéristiques pour l'année 1956 (hydrologiquement moyenne) :

— Réseau interconnecté (sous la commande du Répartiteur National des Charges, dont la production correspond à 92 % de celle du pays) :

Production totale : 1.984×10^6 kWh (hydraulique 99 %; thermique 1 %)

Puissance installée : hydraulique $762 \times \times 10^3$ kW (88 %) ; thermique $106 \times \times 10^3$ kW (12 %)

— Réseau total du pays (service public et auto-producteurs) :

Production totale : 2.166×10^6 kWh (hydraulique 94 %; thermique 6 %)

e) Un aspect très important à retenir c'est l'irrégularité des apports, soit au cours de chaque année (avec des hivers pluvieux et des étés très secs), soit d'une année à l'autre, ce qui constitue l'aspect le plus grave.

Quelques indications quantitatives sur la valeur énergétique des apports (pour l'équipement existant en Novembre 1957) :

— au cours de l'année : dans un régime *«moyen sec»* (50 % de probabilité mensuelle d'occurrence) on enregistre pour les apports dans la saison humide (Novembre-Mai) 1.940×10^6 kWh (88 %) et dans la saison sèche (Juin-Octobre) $270 \times \times 10^6$ kWh (12 %) ;

— d'une année à l'autre : par rapport à l'année *«moyenne sèche»* on enregistre une réduction de 60 % dans les apports pour

(2) 1 dollar U.S.A. ≈ 29 escudos.

(3) Vide note (1).

l'année 1944/45 et de 50 % pour l'année 1948/49, les plus sèches connues depuis 1920.

f) Parmi les conséquences de l'irrégularité de l'énergie hydraulique, on peut indiquer les suivantes :

α) une augmentation de la valeur des investissements par suite de la nécessité de construire de grands réservoirs d'accumulation et de suréquiper les usines hydrauliques ;

β) un certain risque par rapport à la sécurité des fournitures à la consommation et, par conséquent, une certaine diminution (pour réduire ce risque-là) dans les résultats économiques, dans la moyenne des années, de l'exploitation hydraulique.

D'après la grande irrégularité hydraulique constatée — surtout des années humides ou moyennes aux années sèches — il peut être justifié que certaines solutions spéciales, qu'on indiquera sous k), viennent à jouer un rôle important dans le réseau.

g) Tel qu'il a été déjà indiqué, l'irrégularité hydraulique détermine la necessité de suréquiper les usines hydrauliques, dans le but de bien utiliser les apports dans les périodes humides et aussi de permettre une exploitation souple dans les périodes sèches.

Par suite du suréquipement hydraulique on n'a jamais besoin de mettre en service les centrales thermiques pour faire les pointes. Quand on les met en service dans les périodes sèches, elles fonctionnent dans la base du diagramme de charge en prêtant de cette façon un vrai appoint *en énergie*.

Cette situation permet de réduire le poids financier des charges fixes des centrales thermiques qui normalement sont à l'arrêt ; il faut toutefois que leur production maximum possible, additionée à l'énergie garantie par les aménagements hydrauliques en année très sèche, soit suffisante pour assurer les fournitures à la consommation.

h) La situation actuelle de l'énergie électrique au Portugal — qu'on vient de résumer de a) à g) — viendra à subir l'influence de la nouvelle technique nucléaire. Par ailleurs, il semble qu'il sera possible d'appliquer la techique nucléaire en utilisant les minérais nationaux d'uranium car on croît en posséder d'importants gisements, soit dans le térritoire européen, soit dans les provinces d'outremer (Angola et Moçambique). On reste attentif à l'évolution technique et économique de ce problème, on est en train de préparer des spécialistes, et on pense, pour le moment, qu'il est probable de venir à installer la 1ère centrale nucléaire dans quelques 10 ans.

i) Pour le moment, l'ensemble des circonstances indiquées, par rapport à l'irrégularité hydraulique et à la limitation de la puissance thermique, imposent beaucoup de soins, tel qu'on l'a déjà dit, à l'égard de garantir les fournitures à la consommation. Par conséquent, on a jugé opportun d'établir une coordination technique du réseau, au plan national, laquelle est exercée depuis 1951 par une organisation spéciale des entreprises avec la représentation de l'État («Repartidor Nacional de Cargas»). L'action du répartiteur des charges s'exèrce directement par l'intermédiaire du réseau de transport et interconnexion mis en service depuis 1951 (à 150 kV et bientôt aussi à 220 kV) ; les Services de cette organisation-là sont ainsi à la charge du concessionaire de ce réseau («Companhia Nacional de Electricidade»).

Il va sans dire que, dans l'action du répartiteur des charges, les préoccupations d'assurer les fournitures sont toujours liées à des préoccupations d'économie, soit envers le pays, soit envers les entreprises.

On a aussi à chaque moment la préoccupation — dans le même but de réduire la consommation des combustibles — d'utiliser au maximum les apports hydrauliques, d'après la coordination des remplissages des lacs et l'obtention du rendement maximum dans l'ensemble des usines.

(On développera ce sujet dans le Ch. 2 de cette mémoire).

j) La coordination du réseau est faite, au plan national, sous la commande du répartiteur des charges, tel qu'il a été déjà indiqué. Les caractéristiques d'indépendance financière des entreprises exigent toutefois une structure contractuelle spéciale, écartant toutes les difficultés dans l'action technique du répartiteur des charges. Celui-ci a donc tous les pouvoirs de libre action, soit d'après la loi, soit comme mandataire des entreprises.

(Dans le Ch. 2 de cette mémoire on présentera quelques exemples d'accords, en rapport avec le développement du sujet de i)).

k) Par rapport à la planification des ressources d'énergie électrique — integrée dans les Plans Officiels d'Équipement, de 6 ans — on comprend bien qu'il y a des aspects compliqués, à l'égard des caractéristiques de la production d'énergie électrique indiquées et tenant compte de la coordination du réseau au plan national.

Les études de planification sont à la charge des Services Officiels, mais les entreprises concessionaires sont appellées à y collaborer de plus en plus. Il faut que ces études soient faites en tenant compte de l'ensemble du réseau et en déterminant surtout la contribution *marginale* des nouvelles réalisations énergetiques en projet. Par conséquent on est obligé de bien comparer les diverses solutions qui se présentent à chaque époque, soit pour la production permanente, soit pour la production d'appoint.

Un des aspects intéressants de la planification à remarquer c'est que la prépondérance de l'énergie hydraulique et ses caractéristiques d'irrégularité peuvent justifier l'utilisation de solutions spéciales (grands lacs de régularisation «interannuelle»; pompage hydroélectrique pour le transfert d'energie hydraulique des périodes humides pour les périodes sèches).

(Quelques aspects importants de ce sujet seront développés dans le Ch. 3 de cette mémoire).

2. Tendances Économiques dans l'Exploitation des Ressources de Production d'Énergie Électrique

2.1 — *Considérations préliminaires*

Nous allons ensuite présenter, avec le détail possible, les principales tendances économiques qu'on peut dégager dans l'exploitation du système producteur d'électricité, au Portugal. On pense que ce sujet ne s'écarte pas du thème général de cette session, car dans l'exploitation, aussi bien que dans la planification, on remarque, chez nous, des tendances économiques typiques.

Selon les principes généraux présentés ci-avant, il y a deux tendances majeures concernant l'exploitation de la production électrique, au Portugal:

1º) Coordination assurée par un organisme central fédératif — le Répartiteur National des Charges (R.N.C.) — au sens d'accomplir soit la sécurité des fournitures à la consommation soit l'exploitation économique des ressources aménagées.

2º) Réglement des aspects économiques — ou plutôt financiers — soulevés par cette coordination, au moyen d'accords librement établis par les entreprises intéressées.

Pour mieux élucider ces tendances nous allons examiner ci-dessous les aspects les plus remarquables de l'action de coordination du répartiteur des charges, ainsi que les reflets contractuels qu'elle suscite.

2.2 — *Coordination des productions hydraulique et thermique*

On a déjà rappellé que cette coordination devient particulièrement difficile à cause de l'irrégularité des débits et de la limitation de l'équipement thermique. D'un point de vue économique, on souhaite la réduction de la production thermique — dont la plupart provient de combustibles importés —, en la réservant pour les périodes les plus sèches. Néanmoins, des valeurs trop réduites des réserves hydro-électriques ne sont pas admissibles, à cause de la limitation de la puissance thermique. Il y a donc une solution de compromis entre l'économie et la sécurité, qu'on essaye d'atteindre par le procédé suivant.

Chaque année le répartiteur des charges établit un ensemble de valeurs minima de la réserve hydro-eléctrique globale des principaux réservoirs interconnectés. L'ensemble de ces valeurs constitue ce qu'on appelle la «courbe-guide de sécurité». Celle-ci est l'instrument de réglage de l'appoint thermique qui doit fonctionner tant que la réserve hydro-électrique réelle lui est inférieure.

Les points les plus importants de cette courbe sont ceux de fin d'étiage (mois d'Octobre et Novembre), correspondant aux minima annuels. Leur détermination soulève un problème économique qu'on peut résumer de la façon suivante: si les réserves minima étaient trop petites, on courrirait le risque de restrictions de la consom-

mation, dans le cas d'un régime hydrologique très sec (à courte où à longue échéance); au contraire, si les réserves étaient trop élevées, le risque serait d'avoir besoin, pour constituer ces réserves, de l'appoint thermique pendant l'étiage, lequel prouverait inutile si, dans les mois suivants, surviendraient des déversements aux réservoirs, du fait d'un régime hydrologique trop humide. Mais si l'on peut poser le problème avec netteté, son equationnement n'est pas facile, car l'estimation des pertes concernant le risque de restrictions est trop difficile à faire, en termes d'être comparé au risque d'accroissement inutile de la production thermique. En conséquence on tâche de résoudre la difficulté en déterminant les réserves minima pour un niveau de sécurité arbitrairement choisi. En fait on établit que les réserves minima doivent assurer la satisfaction de la consommation permanente même s'il survenait le régime hydrologique le plus sec connu (d'après les régistres statistiques de 20 à 30 ans), en utilisant cependant l'appoint thermique maximum possible. En certains cas, si l'on juge trop élevées les valeurs ainsi calculées, elles sont réduites d'une quantité qualitativement correspondante au risque d'accroissement inutile de la production thermique.

Les autres points de la courbe-guide sont déterminés de façon semblable. On remarque ainsi une tendance vers la sécurité, qui est justifiée par la conviction que le préjudice en cas de restriction, quoique inconnu, serait sûrement bien supérieur aux bénifices d'épargne de quelque charbon étranger. Néanmoins la solution juste, qui l'emportera quand on aura les moyens de l'accomplir, dépend de la résolution du problème économique posé ci-dessus, s'il est possible de venir aussi à tenir compte des aspects sociaux et d'autre nature insusceptibles d'être equationnés.

2.3 — *Coordination de la production thermique*

Un problème financier de quelque importance est soulevé par la coordination de l'appoint thermique. Nous venons de voir que ce dernier est mis en service lorsque la réserve hydro-électrique est inférieure à la courbe de securité. D'ailleurs le répartiteur des charges commande le démarrage des groupes thermiques en tenant compte de leur économie et le leur localisation dans le réseau, a fin d'assurer la moindre dépense possible de combustible.

Or les usines thermiques d'appoint (4) sont celles qui existaient avant la construction des grands aménagements hydroélectriques et l'interconnexion générale. Elles sont intégrées dans les concessions des entreprises de distribution et de traction électrique urbaine, et assuraient autrefois un service presque permanent, ayant récemment assumé la fonction de réserve et d'appoint, leurs charges fixes étant déjà, en principe, considérées dans les tarifs de vente au consommateur des entreprises concessionaires. Autrement la distribution de leurs charges de production, qui sont élevées et variables avec l'équipement, plus ou moins ancien et utilisant pour la plupart des combustibles importés, soulève un problème économique. En effet, le R.N.C. détermine l'ordre de démarrage des groupes thermiques, ce qui pourrait surcharger certaines entreprises à cause d'un service d'intérêt général.

Pour résoudre ce problème les entreprises concessionaires ont établi un accord qui règle la répartition des charges variables de la production thermique, de façon proportionée aux nécessités d'appoint de leurs réseaux, quelles que soient les usines en service.

En ce qui concerne la nouvelle centrale thermique en construction (5), brûlant des charbons pauvres du bassin du Douro, on remarque la tendance suivante pour la résolution du problème de son financement. Le Gouvernement a défini l'orientation selon laquelle les charges fixes et de production seront probablement couvertes par la "Companhia Nacional de Electricidade" — concessionaire du réseau de transport et interconnexion à très haute tension, auquel cette centrale sera raccordée —, les tarifs de vente d'énergie de cette entreprise devant être revus et ajustés en conséquence. La nouvelle tendance ainsi ébauchée mènera-t-elle, dans l'avenir, à un changement du régime financier de l'appoint thermique indiqué, au sens de l'avène-

---

(4) Il y en a d'autres, desservant de petits réseaux isolés ou appartenant aux autoproducteurs, qui accomplissent en général un service permanent (Vd. Ch. 1 no. 1.2.-d.).

(5) Centrale de Tapada do Outeiro prévue pour un équipement de 150 à 200 $\times 10^3$ kW, dont on espère que le premier groupe de 50 $\times 10^3$ kW entrera en service dans un an.

ment d'un statut général pour son reglement? Il est peut être trop tôt pour en donner une réponse.

2.4 — *Utilisation de l'énergie excédante au fil de l'eau*

Une autre mesure qui revient en économie de combustible c'est d'accomplir l'utilisation integrale des apports hydrauliques. Celle-ci pose deux problèmes principaux: l'utilisation des énergies excédantes au fil de l'eau et la coordination de la production hydraulique du réseau primaire.

Il faut d'abord noter qu'on nomme, chez nous, *réseau primaire* l'ensemble des nouvelles grandes centrales hydrauliques et le réseau de transport à très haute tension (150 kV et 220 kV), qui les interconnecte aux principaux réseaux de grande distribution — qui sont appellés *réseaux secondaires* On peut remarquer que le réseau primaire produit déjà plus de la moitié de l'énergie électrique consommée au Portugal, cette position devant être renforcée dans un proche avenir, du fait que les prochaines grandes centrales hydrauliques à construire lui seront en général raccordées.

Les énergies excédantes au fil de l'eau des réseaux secondaires sont relativement faibles et se présentent presque toujours aux heures creuses du diagramme de charge. Cependant leur utilisation peut contribuer à l'économie de combustible, au cas de survenir un régime hydrologique sec, éxigeant de l'appoint thermique. Les entreprises intéressées ont donc établi un accord par lequel le réseau primaire s'oblige à recevoir ces énergies excédantes, sous des conditions techniques déterminées, et tant que les niveaux de remplissage des réservoirs du réseau primaire soient inférieurs à des valeurs préalablement accordées. Le choix entre les excédants offerts est réglementé par le répartiteur des charges, ayant compte à des raisons techniques et de sécurité (réduction des transports, réglage du réseau, etc.). Le susdit accord rend, pourtant, la distribution des recettes correspondantes indépendante de ce choix. En effet, elle est faite en proportion, non des énergies excédantes fournies réellement, mais des sommes de celles-ci avec les déversements turbinables dans les mêmes usines, s'il y en a lieu. C'est à dire le gain est proportionnel à la production potentielle et non à l'effective.

2.5 — *Coordination de la production du réseau primaire*

2.5.1. — Nous avons déjà défini le réseau primaire portugais comme étant le système composé par le réseau de transport et interconnexion à très haute tension et par les nouvelles grandes centrales hydrauliques qui lui sont raccordées. L'importance du réseau primaire qui s'est incessament accrue depuis 1951, année de son inauguration, a été déjà évoquée par le fait que plus de la moitié de la production d'énergie électrique au Portugal lui revient déjà; il reste encore à dire que la capacité en énergie de ses réservoirs surpasse les 90 % de la capacité actuelle du pays.

Les installations du réseau primaire n'ont pas un seul concessionaire mais plusieurs, quoique tous étant des entreprises de création récente et d'économie mixte (6). Les usines hydrauliques ont trois concessionaires: "Hidro Eléctrica do Zêzere" et "Hidro Eléctrica do Cávado", avec des usines en exploitation, et "Hidro Eléctrica do Douro", dont la première centrale sera bientôt mise en service. La concession du réseau de transport et d'interconnexion à très haute tension, tel qu'on l'a déjà rappellé appartient à la "Companhia Nacional de Electricidade".

2.5.2 — Ce pluralisme d'entreprises pourrait soulever des difficultés à une coordination totale de la production du réseau primaire. En effet, lorsqu'on veut orienter l'exploitation des aménagements du réseau primaire vers la plus grande économie d'ensemble, des déséquilibres peuvent apparaître entre la production des usines des diverses entreprises, ayant une incidence sur leurs recettes. Alors de grandes difficultés surviendraient pour la coordination, si celle-ci, quoique orientée vers le bien commun, favorisait une distribution défectueuse des profits.

Une solution a été, cependant, trouvée, qui a prouvé très bien: le répartiteur des charges agit librement dans le sens du maximum rendement énergetique de l'ensemble; les entreprises productrices ont établi un accord financier qui stipule une distribution proportionnelle des revenus totaux de la vente d'énergie. Il s'agit donc d'un régime de "pool" d'énergie, où les proportions de répartition des recettes sont fixes et dépendent des caractéristiques des aménagements en exploitation de chaque entreprise et de leurs

(6) Cfr. note (1).

charges financières fixes. L'entreprise de transport, de son côté, paye à l'ensemble des producteurs du réseau primaire l'énergie achetée dans leurs usines, sans tenir compte des pertes de transport, celles-ci incidant, évidemment, sur ses recettes, à égalité de vente aux distributeurs et aux gros consommateurs, qui sont ses clients directs.

Le régime contractuel indiqué a, comme nous avons déjà remarqué, l'avantage de permettre l'étude et l'application des méthodes de coordination assurant l'utilisation la plus économique de l'énergie hydraulique du réseau primaire. Ce rôle est accompli par les Services du R. N. C., en certains cas par force de la loi qui créa cet organisme et en d'autres par mandat des entreprises du réseau primaire. Nous allons tout de suite rapporter brièvement les deux aspects les plus remarquables de cette action coordinatrice.

2.5.3. — D'abord nous soulignerons les méthodes developpées pour la répartition des réserves d'énergie entre les lacs du réseau primaire et que nous supposons originelles (7).

Pour équationner les divers éléments qui interviennent dans ce problème, on définit des modèles théoriques — au sens consideré en Économie —, qu'on tâche de rapprocher de la réalité autant que possible. Dans le modèle le plus élaboré on tient compte des éléments suivants: le risque de déversement, la mise en valeur des apports énergétiques et, si l'on veut, les pertes de transport dans le réseau primaire. Pour cha cun de ces éléments et chaque niveau de remplissage de chacun des réservoirs on détermine les espérances mathématiques de gain en énergie, correspondantes à un decroissement de l'énergie emmagasinée dans le réservoir. À l'espérance mathématique marginale résultante on a donné le nom de *coéficient de gain*, et on peut démontrer que l'égalité de ces coéficients mène à la répartition de réserves statistiquement la plus économique.

La détermination des coéficients de gain est assez pénible, ne pouvant pas être accomplie à la rigueur sans le recours à une calculatrice électronique. N'ayant pas été possible, pour le moment, l'utilisation d'un de ces instruments, on procède à un calcul approximatif. Partant de ces coéficients et après la pondération des éléments d'ordre qualitative qui n'ont pas pu être équationnés, on construit des courbes de répartition des réserves entre les lacs du réseau primaire. On obtient ainsi une famille de ces courbes, correspondantes à chaque mois de la saison humide; celles-ci constituent l'instrument de réglage des productions des usines du réseau primaire, qui en peuvent être déterminées aisément, compte tenue des débits réels.

2.5.4. — Un autre aspect important de l'action coordinatrice dans le réseau primaire c'est la répartition des charges proprement dite. Étant connues les productions journalières les plus convenables des centrales, d'après les courbes de répartition des réserves et les diagrammes de charge du réseau primaire, il faut distribuer celle-ci par les usines. Autant que possible et surtout pendant les époques sèches, on utilise la méthode des pertes rélatives minimes, dans la répartition des charges. Cette méthode assure, en effet, l'utilisation la plus économique de l'énergie hydraulique productible, à chaque instant.

Le service de répartition est provisoirement exercé par deux postes du réseau primaire, très bien localisés. Néanmoins on projecte l'installation d'un «dispatching» central, à Lisbonne, lequel entrera en fonctionement dans deux ou trois ans. Ce «dispatching», dans les installations de la Companhia Nacional de Electricidade, sera utilisé par les Services du R. N. C., pour l'accomplissement plus efficace de leur mission de coordination.

3. Tendances Économiques dans la Planification des Ressources d'Énergie Électrique

3.1 — Introduction

La planification des ressources d'énergie électrique est, au Portugal, à la charge des Services Officiels. Toutefois, puisque les nouvelles centrales, quelle que soit leur nature, devront être exploitées en conjugaison avec toutes les autres usines du système, ce qui apporte d'inévitables répercussions techniques et économiques à l'exploitation de l'ensemble producteur, la colaboration prêtée par les entreprises y intéressées à

(7) Cfr., dans la revue «Electricidade» (de Lisbonne) nos 3 et 4 (1957), l'article «O Problema da repartição de reservas entre albufeiras hidroeléctricas interligadas» («Le problème de la répartition des stocks d'énergie par des réservoirs hydroélectriques interconnectés») — Ing. Sidónio Pais.

l'étude de ces problèmes est devenue de plus en plus désirable et effective.

Dans cet esprit, des études ayant pour principal objectif l'analyse des caractéristiques de l'énergie productible du système et de l'équipement en puissance des centrales — aspects des plus intéressants pour leur actuation — sont en cours aux Services du Répartiteur National des Charges.

C'est, donc, d'après les idées formées au cours de ces études — qui sont encore, parce que nécessairement longues, loin de leur terme — qu'on va tâcher d'exposer quelques tendances dans la planification des sources d'électricité.

3.2 — *Principes fondamentaux à observer dans la planification*

3.2.1. — L'objectif de sécurité à poursuivre au moyen de la planification des nouvelles sources d'électricité est celui de donner au système producteur des caractéristiques lui permettant de produire chaque année, d'une forme assurée, l'énergie appelée par la consommation permanente.

En effet, les très graves conséquences qui seraient apportées à l'économie nationale — précisément à une époque où l'on cherche, au moyen de «Plans Officiels d'Équipement», à lui donner une décisive impulsion — par l'éventuelle nécessité d'imposer des restrictions à cette classe de consommation, justifient, du point de vue national, l'adoption de ce principe.

Un autre principe qu'on doit observer c'est d'obtenir l'énergie électrique aux dépens des ressources nationales. Comme l'antérieure, ce principe prend sa justification au plan national.

Au chapitre 1er on a déjà rappelé, tout en exposant les caractéristiques de la production d'énergie électrique, la situation du Portugal sous l'aspect de ses ressources énergétiques, et nous pouvons en conclure que la production d'énergie électrique au Portugal, pendant les prochaines années — il ne semble pas osé de parler de 10 ou 15 ans — sera presque totalement d'origine hydraulique, l'équipement thermique du type classique jouant le rôle de réserve et d'appoint.

On doit remarquer que l'énergie thermique, qui sera, de par le principe exposé, obtenue principalement par combustion des charbons les plus pauvres des mines portugaises, sera très limitée par les petites réserves connues de ces combustibles et par le rythme de leur extraction qui est estimé correspondre à une productibilité annuelle moyenne d'environ 200×10^6 kWh.

3. 2. 2. — Nous venons d'affirmer qu'il faut assurer au système une productibilité suffisante pour éviter les restrictions dans la consommation permanente et, dans l'avenir prochain, rendre la production presque totalement de nature hydraulique.

Or, la sécurité qu'un système hydroélectrique peut assurer à la consommation ne peut être définie que statistiquement. Dans le cas portugais, le régime hydrologique étant très irrégulier — comme on a déjà rappelé au chapitre 1er — et les régistres des débits ne se rapportant qu'à un petit nombre d'années (20 à 30), la définition du degré de sécurité devient difficile, parce que les courbes de probabilités des apports n'en résultent pas bien définies, surtout au domaine des petits apports.

Cependant, les apports des régimes les plus défavorables étant nettement inférieurs à ceux des autres régimes et résultant indiscutable, d'après les courbes tracées, que leurs probabilités d'être excedées sont très proches de l'unité, il semble raisonnable qu'on adopte ces régimes très secs pour définir la garantie absolue. En conséquence, la productibilité permanente annuelle du système — équipement thermique y compris — doit être, avec les régimes hydrologiques les plus défavorables connus, au moins égale à l'énergie appelée par la consommation permanente.

3.2.3 — Il est évident que, tout en étant définie une petite marge de sécurité, il faut éviter que la productibilité permanente garantie du système surpasse de beaucoup la consommation permanente, ce qui hausserait le prix de cette énergie. Or, la prévision du développement de la consommation est difficile à faire — surtout dans un cas comme le nôtre, avec une faible consommation spécifique et un taux d'accroisement annuel élevé, dont il n'est pas possible de prévoir l'évolution à long terme.

Nous pouvons donc conclure qu'il est très désirable que la planification soit suffisament souple, en vue de son adaptation aussi parfaite que possible à l'évolution réelle de la consommation.